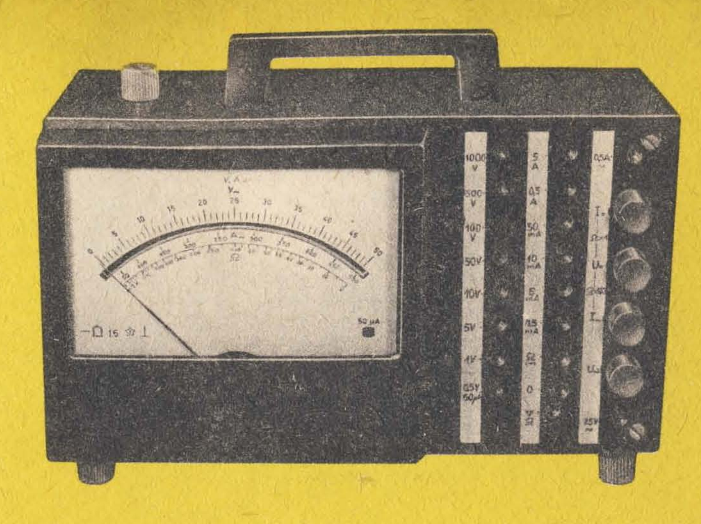




Bauplan Nr. 27
Preis 1,–

Vielfachmesser

mit Variante „MOSFET- Volt- und Ohmmeter“

Klaus Schlenzig
Karl-Heinz Bläsing

Inhaltsverzeichnis

Dieser Bauplan stellt die erweiterte Fassung von Bauplan Nr. 23 dar. Seit im Handel Doppel-MOS-Feldeffekttransistoren angeboten werden, liegt eine sinnvolle Ergänzung des „passiven" Vielfachmessers nahe. Höherer Eingangswiderstand (im Mustergerät 1 MΩ/V) steht dabei der Notwendigkeit einer Hilfsspannung gegenüber, so daß dem Leser freigestellt bleibt, ob er beide Möglichkeiten einsetzt oder nur mit dem rein „passiven" Vielfachmesser auskommen will.

1. Messen ist Wissen

Innerhalb der Reihe „Originalbaupläne" wurde bisher dem Arbeitsgang „Messen" im allgemeinen vielleicht etwas zuwenig Aufmerksamkeit gewidmet. Abgesehen vom Bauplan Nr. 4, in dem als Hilfsgeräte 2 Ohmmeter beschrieben wurden, und von einigen Hinweisen in anderen Bauplänen, vermißten unsere Leser bisher konkretere Empfehlungen zum Bau von einfachen Meßgeräten. Das soll im folgenden nachgeholt werden.
Ausgangspunkt ist die Überlegung: Handelsübliche Vielfachmeßinstrumente sind recht teuer (etwa 250,— bis 350,— M), so daß gerade der Anfänger, wenn er mit ihnen noch nicht richtig umzugehen versteht, von einer solchen Erwerbung zunächst noch Abstand nehmen sollte. Eine gewisse Überbrückung bedeutet der „Multiprüfer", den man für etwa 80,— M (Richtwert) erhält. Zwischen beiden Gruppen besteht neben der unterschiedlich großen Bereichsanzahl vor allem ein wesentlicher Unterschied: Der Eigenverbrauch des Multiprüfers liegt um einige Größenordnungen höher als der moderner Vielfachmesser, wie sie vom VEB Elektro-Apparate-Werke Berlin und vom VEB Meßtechnik Mellenbach angeboten werden bzw. wurden. Man erreichte inzwischen längst die Kennzahl 100 kΩ/V (ihre Bedeutung wird weiter unten erläutert), während vor zwanzig Jahren noch das „Multizet" mit seinen 333 Ω/V (später auch 1 kΩ/V) die Servicemeßtechnik beherrschte. Wie ebenfalls noch gezeigt wird, stellen solche niedrigen Werte viele Meßergebnisse in Frage. Auswege boten z. B. Röhrenvoltmeter mit teilweise beträchtlichem Aufwand, deren Meßaufgaben heute vielfach schon mit 100-kΩ/V-Instrumenten gelöst werden können bzw. von Transistorvoltmetern in einer Größe, die mit alten Vielfachmessern konkurrieren kann, aber mit ungleich günstigeren Daten.
Seit etwa einem Jahrzehnt hat nun eine besondere Gruppe von Spannungsmessern große Verbreitung in der Meßtechnik gefunden, die Digitalvoltmeter. Sie zeigen im Rahmen ihrer (meist außerordentlich guten) Meßgenauigkeit den Meßwert unmittelbar in Ziffern an, so daß Zweideutigkeiten nahezu ausgeschlossen sind. Ihr hoher Eingangswiderstand verhindert auch bei großen Innenwiderständen der Meßkreise Fehlmessungen. Dennoch muß man auch mit diesen Geräten erst richtig umgehen lernen, selbst dann, wenn sie z. B. von selbst den richtigen Meßbereich wählen. Bei einem Digitalvoltmeter mißt man Gleichspannungen. Wechselspannungen sind daher über einen sogenannten AC/DC-Konverter in Gleichspannungen umzuwandeln (der Ausdruck kommt aus dem Englischen). Ohne Kenntnis der Kurvenform und der Meßmethode kann aber der angezeigte Meßwert nicht richtig ausgewertet werden. Diese Schwierigkeit ergibt sich jedoch bereits bei Zeigerinstrumenten, die mit einem Gleichrichter zur Wechselspannungsmessung ausgerüstet sind.

Warum werden aber überhaupt noch Zeigerinstrumente hergestellt und angewendet, wenn die Digitalmessung so viel bequemer und genauer ist? Nun, ein Argument für das klassische Zeigerinstrument liegt in der Preisdifferenz. Das muß nicht immer so bleiben — die Fortschritte der Halbleitertechnik können das durchaus eines Tages entscheidend ändern. Ein anderer Grund aber wird auch dann (wenn man diese Eigenschaft nicht auf andere Weise nachbildet) noch gegeben sein: Mit einem Zeigerinstrument kann man z. B. beim Abgleich einer Brücke oder beim „Durchfahren" einer Meßkurve viel schneller die „Tendenz" der Spannungsänderung erkennen als bei einem Digitalvoltmeter, das stets erst nach einer endlichen Zeit den „abgefühlten" Meßwert anzeigt und so lange hält, bis der nächste ausgegeben wird. In der Zwischenzeit kann sich schon viel geändert haben.
Diese Argumente sind aber für den Amateur heute auf jeden Fall noch uninteressant. Für ihn ist ein solches Zeigerinstrument, dessen Eigenschaften er kennt und auf das er sich deshalb bei richtigem Einsatz auch verlassen kann, noch immer das beste Hilfsmittel beim Entwickeln, beim Bau, bei der Prüfung und bei der Reparatur elektronischer Schaltungen. Bedenkt man es genau, so stellt für den Leser eines Bauplans der Nachbau einer Schaltung ohne das Hilfsmittel „Meßinstrument" stets ein gewisses Abenteuer mit ungewissem Ausgang dar. Daran ändert auch der Umstand nicht allzuviel, daß die Schaltung vom Autor gründlich getestet wurde, denn jedes Bauelement hat Toleranzen. Im ungünstigsten Fall summieren sich alle Einflüsse, und das Gerät funktioniert nicht mehr. Daher wurden auch bisher im allgemeinen in unseren Schaltungen Meßwerte vermerkt, soweit dies notwendig erschien. Wir vertrauten dabei darauf, daß der Leser doch „irgendwie" an ein Meßinstrument herankommen würde, z. B. innerhalb seiner Arbeitsgemeinschaft.
Diesen Unsicherheiten soll mit dem vorliegenden Bauplan — soweit möglich — ein Ende bereitet werden. Die Einschränkung bezieht sich dabei auf folgende Probleme: Zunächst wird es nie gelingen, sich mit vernünftigem Aufwand ein Instrument zu schaffen, mit dem man „alle" Meßaufgaben lösen kann. Bald wird sich herausstellen, daß man mit einer relativ kleinen Anzahl von Bereichen und Meßarten einen großen Teil der auftretenden Meßprobleme lösen kann. Für den Rest sollten bei Bedarf Zusätze zum Instrument aufgebaut werden, in denen das Instrument selbst dann nur noch die Rolle eines Indikators hat (z. B. Brücken, Indikatoren u. ä.). Die vom Bauplan eingehaltenen Grenzen sind gleichzeitig hinsichtlich des Verhältnisses von Aufwand zu Ergebnis gewisse Vernunftsgrenzen.
Ein weiterer Umstand betrifft den Grund, aus dem heraus eigentlich bisher noch kein „Vielfachmesser-Bauplan" entstand: Das ist die Frage nach dem geeignetsten Meßwerk. Schon diese Fragestellung ist aber eigentlich nicht richtig, weil man wieder den Einsatzbereich beim jeweiligen Anwender berücksichtigen muß. Nun ließen sich zwar einige Punkte für ein (auf den Bauplanstoff bezogen) optimales Meßwerk nennen, doch würde man im Handel vielleicht lange vergeblich nach einem entsprechenden Typ suchen. Man bedenke: Meßinstrumente sind Erzeugnisse mit hohem feinmechanischem Aufwand, deren Fertigung also erfahrene Fachkräfte und große Genauigkeit erfordert. Die verfügbare Menge wird also nicht unbegrenzt hoch sein. Darüber hinaus kann sich der „Außenstehende" den hohen Bedarf im allgemeinen gar nicht vorstellen, den die elektronische Industrie im Zeitalter der Automation an Zeigermeßinstrumenten noch immer hat. Schließlich spielt der Mensch auch in der automatisierten Produktion die wichtigste Rolle. Er muß sich vom Zustand der Anlage laufend überzeugen können. Zeigerinstrumente sind bei dieser Kommunikation zwischen Mensch und Maschine auch nach Einführung digitaler Meß- und Anzeigeverfahren ein wichtiges Glied.
Der Amateur sollte also Verständnis dafür aufbringen, wenn ihm nicht ein ganzes Sortiment empfindlicher Zeigermeßwerke kontinuierlich zur Verfügung steht. Im Handel findet man heute dies und morgen das. Das Vorhaben „Vielfachmesser" muß daher gründlich durchdacht und vorbereitet werden, bevor man zugreift. Der vorliegende Bauplan will dabei beraten. Wenn dennoch im Mustergerät ein ganz bestimmtes Meßwerk benutzt wird, so ist das nur ein Beispiel, an dem man sich genügend detailliert orientieren kann. Wenn es diesen Typ nicht gibt, nimmt man eben einen anderen. In beiden Fällen hängt das Ergebnis davon ab, wie gründlich man sich mit den Voraussetzungen beschäftigt und ob man weiß, wo man für den eigenen Bedarf eine sinnvolle Grenze zieht. Der Wahlspruch „Messen ist Wissen" kann nur so lange gültig sein, wie das benutzte Meßgerät in seinen Werten und (teilweise umweltabhängigen) Eigenschaften genau bekannt ist. Sowohl auf diese Faktoren wie auf die Fragen des richtigen Messens soll in den folgenden Abschnitten eingegangen werden, bevor ein vollständiger Vielfachmesser vorgestellt wird.

2. Eigenschaften von Drehspulinstrumenten

Vorauszuschicken ist, daß für einen Vielfachmesser unter den zahlreichen Meßinstrumentarten nur ein Drehspulmeßwerk in Frage kommt. Ob es sich um ein solches handelt, erkennt man neben einigen anderen Angaben aus den Eintragungen im Skalenblatt (Bild 1, entnommen [1]). (Auf die Fragen der Genauigkeitsklassen und der zu erwartenden Anzeigefehler u. ä. wird im Bauplan nicht näher eingegangen; je kleiner jedenfalls die Zahl, um so genauer das Instrument. Näheres findet der Leser ebenfalls in [1], dessen Anhang die für Instrumente gültige TGL 19472 enthält.) Daher werden andere Meßwerksysteme gar nicht erst behandelt.

Die für uns wichtigste Zahl ist die am Skalenende eingetragene. Sofern es sich nicht bereits um ein für einen bestimmten Zweck mit Vorwiderstand versehenes und z. B. in Volt geeichtes Instrument handelt, gibt dieser Wert den Vollausschlag in Mikroampere oder in Milliampere an, je nach Eintragung auf dem Skalenblatt. Für den geplanten Vielfachmesser ist als oberer Grenzwert 100 µA anzusehen, was einer „Stromdämmung" von 10 kΩ/V entspricht. Besser sind schon 50-µA-Instrumente (20 kΩ/V). Gelegentlich erhält man auch solche mit 60 µA Vollausschlag, was also 16,66 ... kΩ/V entspricht. Damit läßt sich nicht so gut rechnen. Das nimmt man bei 30-µA-Meßwerken schon eher in Kauf, denn immerhin gestatten sie 33,33 ... kΩ/V. 25 µA bedeuten 40 kΩ/V, und empfindlichere wird man kaum im Handel finden, bzw. ihr Preis liegt so hoch, daß man schon beinahe günstiger einen kompletten Vielfachmesser kauft. 100 kΩ/V lassen sich schließlich erst mit einem 10-µA-Instrument erzielen.

Neben dem Vollausschlagwert geht in die Konstruktion unseres Vielfachmessers noch entscheidend die angegebene Gebrauchslage ein. Ein z. B. für vertikale Montage vorgesehenes Meßwerk wird infolge der Masseverteilung bei der für Vielfachmesser gebräuchlichen liegenden Anordnung einen höheren Meßfehler haben, als angegeben. Ob das Instrument mit Hilfe von Spitzenlagern oder über ein Spannband gelagert ist, interessiert dagegen weniger; meist haben Spannbandinstrumente eine höhere elektrische Empfindlichkeit, sind dagegen aber etwas stoßempfindlicher. Günstig wirkt sich die fehlende Lagerreibung aus. Zum Verständnis der Wirkungsweise eines Drehspulinstruments dient Bild 2. Bei dem gezeigten Typ befindet sich außen ein etwas „entarteter" Hufeisenmagnet und innen ein Eisenkern (es gibt auch umgekehrt sogenannte Kernmagnettypen). Im homogenen Feld des Luftspalts zwischen Magnet und innerem Kern befindet sich eine Spule aus äußerst dünnem Draht (zumindest bei unseren empfindlichen Meßwerken; bei Amperemetern handelt es sich um wenige Windungen dickeren Drahtes) mit einem Widerstand in der Größenordnung Kiloohm. Die Spule wurde auf einen Aluminiumrahmen gewickelt, so daß sich eine magnetische Bremse ergibt, wenn sie sich bewegt. Diese Dämpfung verhindert ungünstiges mechanisches Pendeln beim Ausschlag. (Bei Transport schließt man zum mechanischen Schutz der beweglichen Teile mit gleicher Wirkung die Instrumentenklemmen kurz.) Das bei Stromdurchgang durch die Spule entstehende Magnetfeld ergibt im Zusammenspiel mit dem Feld des Permanentmagnets eine Drehbewegung für die Spule, der eine federnde Rückstellung entgegenwirkt. Sie besteht bei spitzengelagerten Drehspulen aus 2 Spiralfedern, die gleichzeitig der Stromzuführung dienen, während bei Spannbandinstrumenten die Spannbänder die Funktion der Rückstellung übernehmen. Zusätzlich enthält das Meßwerk eine von außen zugängliche Schraube für den mechanischen Nullpunkt, den man vor Inbetriebnahme einstellen muß. Im übrigen sind Meßwerke gegen Verschmutzung des engen Luftspalts bzw. der Lagerstellen dicht gekapselt. Besonders Eisenspäne würden das Meßwerk sonst sehr schnell außer Betrieb setzen. Man nehme also davon Abstand, es zu öffnen, außer in Ausnahmefällen, z. B. beim Anbringen einer anderen Skale (und dann nur bei entsprechender Sachkenntnis und Vorsicht).

Starke äußere Magnetfelder können die Anzeige von Drehspulmeßwerken erheblich fälschen; ebenso vermögen elektrostatische Aufladungen der Scheibe den Zeiger in einer Stellung festzuhalten. Letzteres beseitigt man durch Anhauchen der Scheibe. Bei manchen Meßwerken findet man den Vermerk „Richtige Anzeige erst bei Einbau in mindestens 2 mm dickes Eisenblech". Solche Instrumente vermeide man für Vielfachmesser nach Möglichkeit. Sie sind auch im allgemeinen für senkrechten Einbau vorgesehen.

Der Magnet des Meßwerks unterliegt einer bestimmten Alterung. Der Hersteller trägt dem bereits durch Voraltern Rechnung. Manchmal läßt sich ein „nachgehendes" Instrument — wenn gar nichts anderes übrigbleibt — unter Verschlechterung der Genauigkeit durch Lösen des magnetischen Nebenschlusses (falls vorhanden) und Neuaufsetzen wieder etwas empfindlicher machen, denn ein solcher

Nebenschluß besteht z. B. aus einem dreieckigen Stück Eisenblech. Das gilt aber nur als Notbehelf. Im übrigen sollten Eingriffe unterbleiben, wie bereits gesagt. Die Ausnahme besteht darin, daß man bei einem Vielfachmeßinstrument kaum mit der Mikroampereskale des Meßwerks oder gar mit einer neutralen Eichskale auskommt. Besonders bei Einbau von Wechselstrom- und -spannungsmeßbereichen benötigt das Instrument eine auf die Gleichrichtercharakteristik zugeschnittene 2. Skale. An dieser Stelle sei nachgetragen, daß man Drehspulmeßwerke nur mit Gleichstrom speisen kann. Bei Wechselstrom würde der Zeiger höchstens zittern. Wechselstrommessungen erfordern also Gleichrichten, was weitere Meßfehler, verringerten Eingangswiderstand und eben eine weitere Skale bedeutet.

Anzeigefehler ergeben sich auch, wenn das Instrument bei extremen Temperaturen betrieben wird, denn die Kupferspule hat einen temperaturabhängigen Widerstand. Das wirkt sich aber praktisch für den Amateur kaum aus, da er einmal selten unter anderen Bedingungen als bei Zimmertemperatur messen wird und da außerdem der Temperaturgang mit zunehmendem Vorwiderstand immer weniger stört (sofern die Vorwiderstände einen geringeren Temperaturbeiwert haben). Da dieser Bauplan zu keinem Präzisionsgerät führen soll, sondern zu einem amateurgerechten Hilfsmittel, braucht man sich nicht unbedingt beim ersten Eigenbau darum zu kümmern. Selbstverständlich wird niemand Thermistoren als Vorwiderstände zur Bereichserweiterung einsetzen, während sie der Spezialist allenfalls zu einer gut ausgewogenen Temperaturkompensation heranzieht.

Welchen Typen begegnet der Amateur nun auf der Suche nach einem geeigneten Meßwerk? Der Autor wäre glücklich, wenn er diese Frage selbst beantworten könnte, doch es gibt einfach zu viele. Immerhin gehört das Drehspulmeßwerk nicht gerade zu den neuesten Entdeckungen. Während bis etwa zum Ende der fünfziger Jahre runde „Tubusinstrumente" vorherrschten, die im Einbaudurchmesser fast so groß waren wie im größten Außendurchmesser, entstanden später Typenreihen, deren Innentubus recht klein ist, so daß sie im Gerät wenig Platz beanspruchen. Manche Bauformen kann man sogar auf die Frontplatte aufsetzen. Rechteckige oder quadratische Anzeigeflächen geben diesen Instrumenten ein moderner wirkendes Äußeres. Unabhängig von dieser Ausführung enthalten z. B. für Schalttafeln vorgesehene Meßwerke relativ breite Zeiger, während für Vielfachmesser und Präzisionsmeßgeräte Messerzeiger benutzt werden, oft mit Spiegelunterlage auf der Skale, so daß man parallaxenfrei ablesen kann. Dazu zielt man mit einem Auge so über den Zeiger, daß er sich mit seinem Spiegelbild deckt. Man darf dennoch vom Instrument nicht mehr Genauigkeit erwarten, als in der betreffenden Klasse vorgeschrieben ist. Dabei gilt infolge der Art der Fehlerdefinition (Anzeigefehler in Prozent des Vollausschlags), daß man möglichst immer im letzten Drittel des Skalenbereichs messen sollte. Ausnahmen gelten z. B. dann, wenn bei Übergang auf den nächsthöheren Bereich die innenwiderstandsbedingte Meßwertfälschung gesenkt werden muß (s. weiter unten).

Angenommen, der Leser hat ein seinen Vorstellungen nahekommendes Meßwerk erworben. Im schlimmsten Fall trägt es nur eine Eichskale, so daß die Daten noch ermittelt werden müssen. Dazu braucht man allerdings ein Vergleichsinstrument möglichst guter Genauigkeit. Mit Hilfe einer Strom- und einer Spannungsmessung lassen sich gemäß Bild 3 Strom- und Spannungsbedarf für Vollausschlag, aus dem Quotienten U/I der Widerstand R_i des Meßwerks und aus R_i/U die „Stromdämmung" in Ω/V ermitteln. Diese Messungen wird allerdings meist der Besitzer des genauen Instruments selbst durchführen wollen, damit wirklich nichts passieren kann. Selbstverständlich beginnt man immer bei der niedrigsten Einstellung des Potentiometers und dreht ganz vorsichtig hoch, bis genau Vollausschlag erreicht wird. Bei neutralen Eichskalen empfiehlt sich – ebenso wie im Fall völlig weißer Skalenblätter –, eine Reihe von Meßpunkten zu ermitteln. Bei unbeschrifteter Skale hilft dabei z. B. Polarkoordinaten-Millimeterpapier. Man muß nur wissen, welchen Winkel der Zeiger überstreichen soll. Das werden meist 70 bis 80 Winkelgrade sein. Anfangs- und Endwert müssen in gleichen Abständen von den federnden Zeigeranschlägen liegen. Vorsicht auf jeden Fall vor Überlastung sowohl des unbekannten wie des Vergleichsinstruments! Gerade dann, wenn beide sehr unterschiedliche Bereiche haben (was man ja anfangs nicht wissen kann), achtet man leicht nur auf das falsche, und das andere wird inzwischen zerstört oder in seiner Genauigkeit beeinträchtigt.

Liegt dagegen ein Meßwerk vor, das offensichtlich noch nicht beschaltet ist, also außen keine Neben- oder Vorwiderstände enthält, so kann man sich zunächst nach der Stromangabe richten. Auch in diesem Fall geht man aber mit einer Messung sicherer. Die Spannung muß zur Ermittlung des Innenwiderstands ohnehin mit gemessen werden. Als Richtwert gilt: Instrumente im Mikroamperebereich haben einen Spannungsbedarf von (größenordnungsmäßig) 100 mV und einen Innenwiderstand, der mit wachsendem Stromvollausschlag entsprechend sinkt (Richtwert also für 100 µA: etwa 1 kΩ).

3. Die Messung von Strom und Spannung

Wohl der kleinste Teil der anfallenden Meßaufgaben wird sich darauf beziehen, die Spannung einer Batterie oder einer anderen Stromquelle geringen Innenwiderstands zu messen oder Ströme in Kreisen mit sehr hohem Innenwiderstand. Diese beiden Extreme wurden an den Anfang der folgenden Betrachtungen gestellt, weil die fühlbarsten Fehlmessungen und damit Fehleinschätzungen nicht von den im allgemeinen doch relativ kleinen Anzeigefehlern der Meßinstrumente herrühren, sondern in der Mißachtung der Daten von Schaltung und Meßinstrument begründet sind. Der Schritt vom Nachbauen auf „gut Glück" zum richtig angewendeten Messen ist der Schritt vom „niederen" Basteln zu dem, was einen wirklichen Amateur auszeichnet: über die Kenntnis der wichtigsten Zusammenhänge, die Erfassung der gegebenen Situation und die aus einer zweckmäßigen Messung gefolgerte Aufgabenstellung für den nächsten Arbeitsgang schließlich zu einem funktionsfähigen Gerät zu gelangen auf der Basis „gewußt, wie".

Wer – mit einem gewissen Mindestwissen in der Elektrotechnik ausgerüstet (dazu hilft die Anfängerliteratur des Militärverlags der Deutschen Demokratischen Republik) – Bild 4 betrachtet, der wird sofort wissen, worum es geht. Das in den Stromkreis nach Bild 4a eingefügte Amperemeter stört mit seinem Innenwiderstand die bisherigen Verhältnisse ähnlich wie das die Schaltung nach Bild 4b belastende Voltmeter.

Im Fall a) kann jetzt nicht mehr der ursprüngliche Strom fließen, sondern nur ein um das Verhältnis $R/(R + R_i)$ kleinerer. Folgerung: Die kleinste Fälschung ergibt sich bei $R_i = 0$ oder, mit anderen Worten, der Widerstand eines Strommessers soll im Verhältnis zum Widerstand des Stromkreises so klein wie möglich sein. In der Praxis reicht es, wenn das Verhältnis R/R_i z. B. in die Größenordnung von 100 kommt.

Im Fall b) schaltet sich der Widerstand R_i des Voltmeters dem Widerstand R_2 parallel, über dem die Spannung gemessen werden soll. Der Gesamtspannungsabfall muß daher bei entsprechend hohem Innenwiderstand R_i der weiteren Schaltung kleiner werden.

Gemäß Bild 4c erkennt man wiederum eine einfache Gesetzmäßigkeit: Die ohne Instrument an den Klemmen des „aktiven Zweipols" erscheinende Leerlaufspannung U_{ers} verringert sich durch den Teiler $R_i/(R_{ers} + R_i)$, sobald das Instrument mit dem Innenwiderstand R_i angeschlossen wird. Für die Grenzwertbetrachtung übersichtlicher ist dieser Ausdruck in der Form $1/(R_{ers}/R_i + 1)$, der für $R_i \rightarrow \infty$ wegen $R_{ers}/R_i \rightarrow 0$ gegen 1 geht. Bei unendlichem Innenwiderstand wird also das Voltmeter die Leerlaufspannung des Zweipols anzeigen, in allen anderen Fällen weniger. Auch für diesen Fall reicht meist das Verhältnis von 1 : 100, nur muß jetzt R_i der größere von beiden Werten sein.

In den meisten Fällen gelingt es in der Amateurpraxis, ein solches Verhältnis zu erreichen.[1]) Das ergibt sich aus folgender Überlegung: Ein 100-μA-Meßwerk mit $R_i = 1000\,\Omega$ und 100 mV Vollausschlag stehe zur Verfügung. Es belastet in seiner ursprünglichen Form also den aktiven Zweipol nach Bild 4c mit $1000\,\Omega$ und mißt daher nur genügend genau, wenn R_{ers} kleiner als $10\,\Omega$ ist. Als Strommesser eingesetzt, muß R entsprechend Bild 4a mindestens 100 kΩ groß sein, wenn der Meßfehler unbemerkt bleiben bzw. in den Instrumentenfehlern untergehen soll.

Ein Fall nach Bild 4c mit den Daten 0,1 V für die „Batterie" und $10\,\Omega$ für den Widerstand tritt praktisch durchaus auf, z. B. im Emitterkreis von gegengekoppelten Transistorstufen. Höhere Widerstände sind aber im allgemeinen auch mit höheren auftretenden Spannungen gekoppelt. Dabei würde jedoch das Meßwerk Vollausschlag zeigen und unter Umständen zerstört werden, wenn man seinen Spannungsbereich nicht erweitern könnte. Die Meßbereicherweiterung ist ganz einfach entsprechend Bild 5 auszuführen. Bild 5 zeigt die Grundschaltung für die Meßbereichserweiterung im Sinne von Vielfachmessern. Man beachte, daß für einen Meßbereich von z. B. 1 V (oder einen günstigen glatten Wert, den die Skalenteilung anbietet) für die Berechnung des Vorwiderstands der Spannungsbedarf des Meßwerks selbst abzuziehen ist. Als empfindlichsten Spannungsmeßbereich kann man den Instrumentenvollausschlag selbst benutzen. Bei in Mikroampere geeichten Instrumenten wird aber der Spannungsbedarf nicht immer einen glatten, möglichst sogar der Teilung entsprechenden Spannungswert haben, wie oben im Fall von 100 μA/100 mV angenommen. Daher muß ein Vorwiderstand für den nächsthöheren glatten Wert eingefügt werden. Bild 5 gibt die nötigen Hinweise einschließlich der Bemessungsgleichung. Ob von diesem neuen „Ersatzmeßwerk" aus gemäß Bild 6 oder vom ursprünglichen her die Widerstände für die anderen Bereiche festgelegt werden, das richtet sich nach den Bereichen, den für jeden der beiden Fälle erforderlichen Widerstandswerten und der Frage, nach welcher Konzeption sie leichter zu erhalten sind. Der andere Extremfall zu Bild 6 ist in diesem Sinne die Schaltung nach Bild 7. Manchmal kann es sogar vorkommen, daß man (vor allem bei älteren Meßwerken, die z. B. ursprünglich in ihrer Anwendung geshuntet waren) den Vollausschlag auf einen glatten Stromwert bringen muß. Im ganzen wird das Instrument dadurch etwas unempfindlicher, doch hat man den Vorteil eines glatten Vollausschlagwerts. Bild 8 gibt dazu Hinweise.

Zur Messung höherer Ströme muß der Teil des Stroms, der den Eigenbedarf des Instruments übersteigt, an diesem vorbeigeleitet werden. Das geschieht mit entsprechend gewählten Widerständen, auch „shunts" genannt („shunt" kommt aus dem Englischen). Nach den Regeln des elektrischen Stromkreises verhalten sich in einer Parallelschaltung die Ströme umgekehrt wie die Widerstände, durch die sie fließen. Soll also z. B. der Strommeßbereich auf das Doppelte des Instrumentenvollausschlags erweitert werden, dann muß durch den Parallelwiderstand noch einmal der Instrumentenstrom fließen; da an beiden die gleiche Spannung liegt, ist in diesem Fall also der Shunt so groß wie der Innenwiderstand des Instruments.

Bild 9 gibt über die Dimensionierung von Parallelwiderständen für beliebige Ströme Auskunft. Die Problematik bei Vielfachmessern liegt in den Strommeßbereichen einmal in der möglichen Gefährdung des Meßwerks bei unzweckmäßiger Anordnung des Umschalters und zum anderen bei den höheren Strömen in möglichen veränderlichen Übergangswiderständen des Schalters, ebenfalls wieder unter der Voraussetzung einer ungünstigen Anordnung. Bild 10 zeigt die beiden möglichen Fälle – der Fall a) ist der ungünstigere. Wird bei ihm nämlich (z. B. bei Bereichswechsel) der Parallelschluß unterbrochen, so befindet sich das Meßwerk allein im meist sehr niederohmigen Stromkreis, dessen Spannung weit über der liegt, die das Instrument verträgt. Das heißt, jetzt fließt durch seine empfindliche Spule ein sehr hoher Strom, der die Spule oder auch die Zuleitungsfedern zum Durchbrennen bringt. Zwar kann man der Gefahr einer solchen Überlastung mit Hilfe der in Abschnitt 4. besprochenen Maßnahmen (s. unten) begegnen, sollte aber schon wegen des Einflusses der Kontaktwiderstände Schaltung b) bevorzugen, auch wenn ihre Berechnung zunächst etwas ungünstiger erscheint. Beispiel: Soll ein Strom von 1 A gemessen werden und hat das Instrument einen Spannungsbedarf von 0,1 V, so muß der Gesamtwiderstand des Strommessers in diesem Bereich $0{,}1\,V/1\,A = 0{,}1\,\Omega$ sein. Der Kontaktwiderstand (Materialwiderstand plus Übergangswiderstand) auch eines guten Schalters liegt bei wenigstens 5 bis 10 mΩ, kann also 10% des Shunts betragen. Je nach Kontaktdruck (z. B. Ermüdungsgrad der Feder) schwankt er dann zwischen z. B. 5 mΩ und 15 mΩ und damit um etwa 10% des Meßwiderstands. Im Fall b) dagegen liegt dieser zusätzliche, unsichere Widerstand nicht im Meßkreis, sondern davor. Dieser Widerstand beeinflußt die Messung also nicht, es sei denn, der gesamte Widerstand des Stromkreises, in dem gemessen wird, würde nur in dieser Größenordnung liegen. Das bedeutete aber, wie bereits weiter vorn ausgeführt, ohnehin eine Strommessung, die infolge des ungünstigen Verhältnisses von Innenwiderstand des aktiven Zweipols und Widerstand des Strommessers unzulässige Fehler liefert.

Die Berechnung der Bereichswiderstände im Fall b) scheint außerdem auch nur schwieriger, als sie es ist. Es wirkt nur der jeweils eingeschaltete Teilwiderstand als Shunt und der übrige als Vorwiderstand. Man muß ihn also, exakt gesehen, bei der Shuntberechnung berücksichtigen. Aus Bild 11 ist der Rechnungsgang für ein Beispiel zu ersehen.

Die Messung von Gleichspannungen und Gleichströmen bildet in der Bauplanpraxis den Hauptteil aller Meßaufgaben. Oft läßt sich sogar noch das Auftrennen der Stromkreise umgehen, wenn Ströme etwa im Sinne des Beispiels von Bild 12 zu messen sind. Man reduziert sie auf eine Spannungsmessung und errechnet den Strom aus dem bekannten Widerstand, über dem die gemessene Spannung abfällt. Das hat außer dem Vorteil, daß nicht aufgetrennt werden muß, noch den Nutzen, daß – solange dieser Widerstand wieder viel kleiner als der des Meßinstruments im eingeschalteten Bereich ist – der ungestörte Kreis gemessen wird. Es stört dabei meist auch wenig, daß der eingebaute Widerstand toleranzbehaftet ist, da es meist nur um die Ermittlung eines zulässigen Arbeitspunktbereichs geht.

[1]) Früher, als keine hinreichend hochohmigen Instrumente zur Verfügung standen, mußte man die Fälschungen einkalkulieren. In Servicestromlaufplänen stand daher neben der Spannungsangabe für den „Normalfall" z. B. der Hinweis: „Gemessen mit Instrument 333 Ω/V." Heute gilt als Standardservicewert im allgemeinen 20 kΩ/V!

Darüber hinaus muß man bei Strommessungen – wie schon angedeutet – ggf. berücksichtigen, daß durch das Einschleifen des Instrumentenwiderstands ein kleinerer als der „ungestörte" Strom fließt bzw. daß bei Spannungsmessungen die wirkliche Spannung größer ist. Welchen Strom man beim Messen einer Spannung dem Meßkreis „entzieht", das läßt sich leicht an der Skale ablesen, wenn sie weiterhin die ursprünglich vorhandenen Eintragungen enthält, also meist eine Mikroampereskale. Der exakte Spannungsbedarf ergibt sich auf Grund der Shuntberechnung im Fall von Bild 10b.
Bisweilen werden in den Bauplänen aber auch Wechselspannungen (meist von Netzfrequenz, also 50 Hz) zu messen sein. Wechselspannungs- und Wechselstrommeßbereiche in einem selbstgebauten Vielfachmesser haben aber leider keine besonders hohe Genauigkeit. Auch die zeitliche Inkonstanz des Meßergebnisses ist relativ hoch. Das liegt hauptsächlich an den notwendigen Gleichrichtern, denn Drehspulmeßwerke sind nur für Gleichstrom geeignet. Den geringsten Eigenspannungsbedarf haben Germaniumgleichrichter, jedoch auch eine recht hohe Temperaturabhängigkeit. Außerdem unterliegen sie zeitabhängigen Datenänderungen. Industriell begegnet man diesen Unvollkommenheiten durch Voraltern sowie mit Vorwiderständen mit positivem Temperaturkoeffizienten „TK" (der TK des Durchlaßwiderstands von Ge-Gleichrichtern ist bekanntlich negativ). Dennoch empfiehlt sich eine etwa jährliche Überprüfung der Anzeigegenauigkeit, die meist eine Klasse schlechter liegt als in den Gleichstrombereichen. Bei Defekten wird man außerdem nicht einfach einen neuen Gleichrichter einsetzen können, weil die Kennlinien der Paare oder gar Quartette zueinander passen müssen. Allerdings wird dieser Einfluß durch die u. a. wegen der Temperaturkompensation eingesetzten Widerstände gemindert. Meist findet man darum heute die Halbbrückenschaltung in Vielfachmessern, wie sie Bild 13 im Unterschied zur Graetz-Brücke nach Bild 14 zeigt.
Gleichrichter und Vorwiderstände bedeuten erhöhten Leistungsbedarf für einen bestimmten Ausschlag, so daß umgerechnet die resultierende „Stromdämmung" geringer wird. Beispielsweise geht sie von 20 kΩ/V beim „Vielfachmesser III" auf 4 kΩ/V in den Wechselspannungsbereichen zurück. Das bedeutet, daß man die für die Gleichspannungs- und Gleichstrombereiche benutzten Bereichswiderstände nicht ohne weiteres auch für Wechselstrommessungen verwenden kann. Daß das bei entsprechender Anpassung des Komplexes „Wechselstromanzeige" mit Hilfe weiterer Widerstände doch möglich ist, wenn entsprechend weniger Widerstände der Kette benutzt werden, zeigt Bild 15 am Beispiel des ebengenannten „Vielfachmessers III", der im VEB Gerätewerk Karl-Marx-Stadt entwickelt wurde und den der VEB Meßtechnik Mellenbach fertigt.
Die Messung von Wechselspannungen und -strömen mit Drehspulvielfachmessern unterliegt noch weiteren Beschränkungen. Ohne Beweis sei gesagt, daß Drehspulmeßwerke den arithmetischen Mittelwert eines pulsierenden Gleichstroms anzeigen. Da man aber allgemein mit Effektivwerten arbeitet, sind die Skalen von Vielfachmessern in Effektivwerten geeicht. Es kann also zwischen beiden nur für eine bestimmte Kurvenform ein bestimmter Zusammenhang bestehen. Man benutzt daher für das Eichen von Vielfachmessern sinusförmigen Wechselstrom. Bei allen anderen Kurvenformen ergeben sich mehr oder weniger starke, positiv oder negativ gerichtete Abweichungen (Bild 16). Es kann deshalb vorkommen, daß das Instrument fast nichts anzeigt, obwohl an der Meßstelle einige hundert Volt liegen – nur eben in Form eines Nadelimpulses, dessen arithmetischer Mittelwert sehr klein ist. Schließlich sei noch darauf hingewiesen, daß man bei Wechselspannungsmessungen kaum ohne eine 2. Skale auskommt, selbst bei großen Vorwiderständen nicht. Stets wird im Anfangsbereich infolge der dort großen Krümmung der Gleichrichterkennlinie eine Zusammendrängung entstehen, der man durch Aufnahme einer 2. Skale Rechnung tragen muß. Diese Skale nimmt man mit sinusförmigem Wechselstrom in Verbindung mit einem möglichst genauen Vergleichsinstrument auf. Auch in dieser Hinsicht ist also der Anfänger benachteiligt, wenn er seinen Vielfachmesser mit Wechselspannungsbereichen versehen will.
Wenn es nur darum geht, z. B. die Sekundärspannungen von Netztransformatoren zu messen, wird daher ein anderer Weg vorgeschlagen, der meist für die Praxis ausreichend gute Ergebnisse liefert. Man benutzt die Gleichspannungsbereiche und einen Spitzenspannungsvorsatz (Bild 17). Solange die zu messende Spannung der Sinusform nahekommt, was bei Netztransformatoren angenommen werden darf, besteht der feste Zusammenhang $U_{eff} = 0{,}707 \cdot U_{Spitze}$. Unter Vernachlässigung des relativ kleinen Schwellspannungswerts der Germaniumdioden bei den zuletzt noch fließenden geringen Strömen mißt der Vielfachmesser die Spitzenspannung dann, wenn das Produkt aus seinem Bereichswiderstand und dem Kondensator des Spitzenspannungsvorsatzes viel größer ist (z. B. 50mal so groß) als der Kehrwert der Frequenz der zu messenden Spannung: $R \cdot C \gg 1/f$.

Die Frequenz spielt übrigens bei der Zuverlässigkeit des Meßwerts von Vielfachmessern eine erhebliche Rolle. Meist kann man den Gesamtaufbau nicht so auslegen, daß nicht irgendwann die Schaltkapazitäten erhebliche Nebenschlüsse bewirken. Die Eigenkapazität moderner Germaniumgleichrichter liegt dagegen um mehrere Größenordnungen unter der früher benutzter Kupferoxidulgleichrichter, so daß man heute im allgemeinen bis 10 kHz mit vertretbarem Fehler messen kann. Für höhere Frequenzen stehen Spezialgeräte zur Verfügung, die aber über das hinausgehen, was der Leser am Anfang seiner Bastelpraxis braucht.
Nach diesen Ausführungen zu den Wechselspannungsmessungen mit Drehspulmeßwerken drängt sich die Frage auf, warum man dann nicht Vielfachmesser baut, die z. B. ein Weicheiseninstrument enthalten, das sich unmittelbar sowohl für Gleich- wie für Wechselgrößen eignet. Die Antwort ist einfach. Der Nachteil liegt im Energiebedarf für eine bestimmte Anzeige. Zwischen Drehspulmeßwerk, Drehspulmeßwerk mit Gleichrichtervorsatz und Weicheiseninstrument besteht dabei nach Drachsel [1] das Verhältnis 1:50:1000. Genaue Messungen des Effektivwerts bei beliebigen Kurvenformen lassen sich mit Thermokreuzen ermöglichen, die aber sehr überlastungsempfindlich sind und nur relativ kleine Spannungen abgeben (Ausnutzung der Thermoelektrizität).
Neben der Messung von Strömen und Spannungen soll ein Vielfachmesser möglichst auch noch die überschlägige Messung von Widerständen gestatten. Das geschieht im allgemeinen dadurch, daß für eine definierte Batteriespannung der Strom durch den unbekannten Widerstand als Maß seiner Größe angezeigt wird. Der Vielfachmesser trägt eine entsprechende Skale, die meist noch durch einen oder zwei Faktoren bei Einschalten eines 2. oder 3. Widerstandsmeßbereichs erweitert wird. Gemäß $R = U/I$ sind kleinen Widerständen große und großen Widerständen kleine Ausschläge zugeordnet. Wie Bild 18 erkennen läßt, verläuft die Skale stark nichtlinear (hyperbolisch) und hat bei der Hälfte des Vollausschlags einen Skalenwert, der dem inneren Widerstand der Ohmmeterschaltung entspricht.
Die einfachste mögliche Schaltung, wie sie Bild 18 praktisch darstellt, geht von konstanter Batteriespannung aus. Für kleine Genauigkeitsansprüche kann man z. B. einen Kleinakkumulator RZP 2 einsetzen. Damit wenigstens keine „negativen" Widerstände vorgetäuscht werden, sollte man mit einem Stellwiderstand dafür sorgen, daß man bei kurzgeschlossenen Meßklemmen über die Lebensdauer des Akkumulators hinweg stets auf „0 Ω" (≙ Vollausschlag) einstellen kann.
Einen zweiten Weg zeigt Bild 19. Man braucht dafür eine zusätzliche Meßtaste, damit der Akkumulator (oder das Trockenelement) nicht während der Betriebspausen versehentlich am Teiler bleibt. Der einstellbare Teiler bewirkt, daß batteriealterungsbedingtes Absinken der Spannung kompensiert werden kann. Mit den Regeln der Zweipoltheorie Vertraute erkennen jedoch, daß man zwar auf eine konstantbleibende „Ersatz-Urspannung" einstellen kann, der Innenwiderstand dieser Quelle dabei aber nicht konstant bleibt. Ihn muß man aber zum Vorwiderstand und zum Meßinstrumentenwiderstand zurechnen, wenn der Meßbereich festgelegt wird. Daher ist darauf zu achten, daß die Änderungen dieses einstellbaren Teils, gemessen am Gesamtwiderstand, klein genug bleiben, z. B. 2 bis 5%.
Der dritte mögliche Weg wurde beim bereits mehrfach erwähnten „Vielfachmesser III" beschritten. Dabei spart man eine zusätzliche Taste. Auch in diesem Fall verändert sich beim Nachstellen auf Vollausschlag bei kurzgeschlossenen Meßklemmen der Gesamtwiderstand, und es wurde daher im ebengenannten Sinne dafür gesorgt, daß die Änderung in vertretbaren Grenzen bleibt. Die Vollausschlageinstellung bei geänderter Batteriespannung erfolgt gemäß Bild 20 durch einen einstellbaren Nebenwiderstand parallel zum Meßwerk. Das kommt dem in einfachen Ohmmetern angewendeten Verfahren nahe, durch einen einstellbaren magnetischen Nebenschluß die Meßwerkempfindlichkeit selbst zu verändern.

4. Ein überlastungsgeschützter Vielfachmesser

Dieser Vielfachmesser dient als Nachbaumuster, entweder fast unverändert, wenn man das gleiche Instrument hat, oder zumindest als Orientierungshilfe für eigene Varianten. Jeder Leser wird sich an Hand der abgeleiteten Beziehungen für abweichende Meßwerkdaten alle erforderlichen Werte errechnen können, ohne daß die folgenden Ausführungen allzu abstrakt gehalten sind.

4.1. Entscheidungen zu Schaltung und Bereichswahl

Als „Bauplanhilfe" soll dieser Vielfachmesser hauptsächlich Gleichspannungen im Niederspannungsbereich messen. In den meisten Fällen wird ein oberster Bereich von 50 V genügen. 100 V, 500 V oder gar 1000 V lassen sich zwar noch relativ leicht anfügen, doch muß man dann schon recht große Sicherheitsabstände auf der Leiterplatte beachten und auch sonst dafür sorgen, daß keine bei der Messung spannungführenden Teile von außen berührt werden können. Im vorgestellten Muster wurden die Buchsen „500 V" und „1000 V" daher nur vorgesehen, um für orientierende Messungen im Bereich bis etwa 100 V eine Anzeigemöglichkeit mit höherem Eingangswiderstand zur Verfügung zu haben. Will man generell (z. B. als Servicetechniker) mit solchen Spannungen arbeiten, so muß die Leiterplatte anders gestaltet werden, und auch das Gehäuse ist entsprechend zu überprüfen. Diese Richtlinien sind ausgebildeten Technikern bekannt; Bauplanlesern wird dagegen vom Umgang mit höheren Spannungen abgeraten, da ein Bauplan kaum alle erforderlichen Regeln bringen kann und die meisten Bauplanleser keine Fachleute sind.
Auch Gleichströme sind bei Bauplanvorhaben oft zu messen. Dabei ist man an einem möglichst kleinen Eigenspannungsbedarf des Vielfachmessers interessiert. Infolge der im nächsten Abschnitt beschriebenen Schutzschaltung muß in dieser Hinsicht ein Kompromiß geschlossen werden; dafür lassen sich die Meßwiderstände günstiger auslegen. Wechselspannungs- und Wechselstrommessungen kommen in Bauplänen seltener vor. Über ihre Problematik wurde schon eingangs gesprochen. Dennoch soll nicht ganz darauf verzichtet werden; der Vielfachmesser erhält wenigstens 1 bis 2 Spannungs- und 1 bis 2 Strombereiche. Sie werden so angefügt, daß man sie getrennt eichen kann. Der Vielfachmesser wird dadurch nicht wesentlich komplizierter. Die Bereiche liegen so, daß dem hauptsächlichen Einsatzfall (aus dem Netz gewonnene Niederspannung über Schutztransformator) Rechnung getragen wird.
Schließlich enthält das Mustergerät noch 2 Widerstandsmeßbereiche. Im allgemeinen wählt man die einzelnen Bereiche eines Vielfachmessers mit einem Drehschalter, der wenigstens 2 Ebenen oder 2 getrennte Schleifer hat. Dieser Schalter muß sowohl für die höchste auftretende Spannung als auch für den größten Meßstrom geeignet sein. Des weiteren fordert man aber auch bei den kleinsten Meßströmen noch einwandfreie Kontaktgabe. Gut geeignet sind z. B. Febana-Typen gemäß Bild 21, soweit es die Spannungen zulassen. Die Hersteller von Vielfachmessern benutzen meist Eigenkonstruktionen.
Für den beschriebenen Vielfachmesser bot sich ein anderer Weg an, der durchaus üblich ist, wie die Anzeigenseiten auch ausländischer Fachzeitschriften beweisen. Es handelt sich um die Kombination eines Betriebsartenschalters mit einer der Anzahl der Bereiche entsprechenden Anzahl von Buchsen. Die Bereichswahl erfolgt durch Umstecken der Prüfschnüre. Es hat sich gezeigt, daß dabei weit weniger Fehler unterlaufen als an Buchsen, die für alle Bereiche gelten, wobei mit einem Drehschalter gewählt wird. Ein weiterer Vorteil ergibt sich bei der im Bauplanmuster benutzten Schaltung dadurch, daß das Instrument mit Einschränkungen gleichzeitig für Strom- und für Spannungsmessungen eingesetzt werden kann. Dabei wird der Stromkreis der Strommessung nicht unterbrochen, wenn man gerade die Spannung mißt. Durch Druck auf die entsprechende Taste fragt man den interessierenden Meßwert ab. Die Einschränkung für diesen komplexen Einsatzfall liegt in der gemeinsamen 0-Buchse für alle Bereiche. Bild 23 zeigt einen zulässigen Meßfall.
Die auf diese Weise modifizierte Aufgabe für die Bereichswahl des Vielfachmessers wurde mit 18 Telefonbuchsen und 1 abhängig schaltenden 4-Tasten-Schalter gelöst. Bei Widerstandsmessungen muß man 2 Tasten gemeinsam drücken, in allen anderen Fällen genügt 1 Taste.

Bild 24 zeigt die Gesamtschaltung des Vielfachmessers. Einzelheiten folgen unter 4.3. Das Instrument wurde innerhalb eines Vierecks dargestellt, dessen Innenschaltung Gegenstand des folgenden Abschnitts ist. Es handelt sich um die Schutzschaltung, die man aber nicht unbedingt übernehmen muß. In diesem Fall sind die Bereichswiderstände neu zu berechnen, und man erhält bei Strommessung einen kleineren Eigenspannungsbedarf der Schaltung. Dennoch dürften aber die Vorteile einer Schutzschaltung überwiegen, besonders bei teuren Meßwerken.

4.2. Schutzschaltung

Die Schutzschaltung soll das Instrument vor Zerstörung durch falsche Bereichswahl, Falschpolung, Anschluß von hoher Wechselspannung an kleine Gleichspannungsbereiche (dann vibriert der Zeiger nur, man merkt es also nicht sofort) usw. schützen. Dabei ist ein gewisser Kompromiß zwischen Überlastungsfähigkeit und Eigenspannungsbedarf erforderlich: Je höher der durch die Schutzschaltung bedingte Eigenspannungsbedarf, um so weniger wird das Instrument im Störungsfall über seinen Vollausschlagwert hinaus belastet. Zu hohe Eigenspannung ist aber für die Strommessung von Nachteil. Die (infolge ihrer unterhalb der Schwellspannung gegenüber dem Instrumentenstrom genügend kleinen Ströme) gut geeigneten Siliziumdioden haben einen Schwellspannungswert von etwa 0,5 V. Erst oberhalb dieser Spannung fließt also ein Strom, der dadurch schon bei kleiner Spannungserhöhung rasch zunimmt (Bild 25). Gemäß Bild 26 werden nun zum Absichern beider Stromrichtungen dem Instrument 2 Si-Dioden antiparallelgeschaltet. Das Instrument erhält außerdem noch einen Vorwiderstand R_z, mit dem ein für das Instrument noch vertretbarer Überstrom über R_i und R_z die Diodenschwellspannung U_D erzeugt. Bei weiterer Stromerhöhung übernehmen die Dioden je nach Stromrichtung den Zuwachs. Vor der gesamten Schaltung bewirkt der Widerstand R_v, daß bei maximaler zu erwartender Spannung der mögliche Strom nicht größer wird, als ihn die Diode verträgt.
Die Dioden sucht man so aus, daß sie weniger als 1 % des Meßstroms abzweigen, wenn das Instrument gerade Vollausschlag zeigt. Das läßt sich leicht durch Ab- und Zuschalten einzelner Dioden bei auf I_{max} eingestelltem Instrumentenstrom ermitteln. Im Bereich unbeeinflußter Anzeige gilt $I_{max} \cdot (R_i + R_z) < U_D$ (Bedeutung der Bezeichnungen wurde soeben erläutert). Der für das Mustergerät zugelassene Überstrom ist ein Kompromiß zwischen einem möglichst kleinen Spannungsbedarf für Strommessungen und dem, was das Instrument noch verträgt. Dafür gilt mit Überlastungsfaktor ü: $ü \cdot I_{max}(R_i + R_z) \geq U_D$ (für I_{max}). Den Vorwiderstand R_v dimensioniert man nach der maximal im Fehlerfall falsch angelegten Spannung. Sie dürfte nicht größer sein als die, für die der Vielfachmesser eingerichtet wurde, im Höchstfall (bei Beachtung der in 4.1. gegebenen Hinweise) also 1000 V. Für die Berechnung wird nicht der maximal zulässige Diodenstrom angesetzt, weil bei ihm U_D größer als angesetzt ist, so daß der Instrumentenstrom weiter steigt. Beim Typ SY 200 rechnet man daher für $I_{D\,max}$ mit 0,5 A. Bei entsprechend harter Quelle gilt $R_v \gtrsim \frac{1000\,V}{I_{Dmax}}$. R_v müßte nun theoretisch 500 W aushalten. Das ist natürlich Unsinn, denn einmal treten beim Amateur (es sei denn beim Funkamateur) keine so „harten" Quellen auf, und zum anderen, wenn es geschähe, ist ein durchgebrannter Widerstand immer noch wesentlich billiger als ein Instrument. Außerdem kann man zusätzlich noch eine Feinsicherung in der Größenordnung von 50 mA einfügen, wenn man ganz sichergehen will.
Die für das vorhandene Meßwerk mit den Daten $I_{max} = 50\,\mu A$, $R_i = 660\,\Omega$, $U_{max} = 33\,mV$ dimensionierte Schaltung nach Bild 26 benötigt an ihren Klemmen für Vollausschlag 0,3 V. Wegen der Verwendung toleranzbehafteter Widerstände innerhalb des Instrumentenpfads nimmt man die Einstellung mit dem Stellwiderstand vor. Würde man ihn zum Schutzwiderstand zuschalten, so müßte durch ihn im Fehlerfall ein unzulässig hoher Strom fließen; denn die Belastbarkeit seines Schleiferkontakts ergibt sich nur aus $I_{zul} = \sqrt{\frac{P}{R_{ges}}}$, das sind bei 0,1 W und 1 kΩ nur 10 mA. Damit wird der Überstrom im Fehlerfall etwas von der Toleranz der verwendeten Widerstände abhängig.
Die gesamte Schutzschaltung wird nun so eingestellt, daß das Instrument Vollausschlag zeigt, wenn an der gesamten Schaltung genau 0,3 V stehen. Zur Eichung ist ein möglichst genaues Hilfsinstrument zu benutzen. Man betrachtet wegen des Abgleichs R_z und R_v gemeinsam und rechnet $R_z + R_v = \frac{U_{ges}}{I_{max}} - R_i$ oder im vorliegenden Fall $R_z + R_v = 5{,}34\,k\Omega$. R_z ermittelt man aus R_v über $R_{zmax} = 5{,}34\,k\Omega - R_{vmin} \cdot R_{vmin}$

ist der infolge der aufgedruckten Toleranz kleinste mögliche reale Wert von R_v. Wie sich nachträglich leicht überprüfen läßt, muß R_v ein mit 5% oder besser tolerierter Typ sein, wenn man einen 1,8-kΩ-Widerstand benutzt und R_z zu einem „handelsüblichen" Teil einstellbar macht: R_{zmax} ergibt sich zu 5,34 kΩ − 1,71 kΩ = 3,62 kΩ. Damit nicht ein unnötig großer Abgleichbereich überstrichen wird, wählt man ein 1-kΩ-Potentiometer. Sein Widerstand ist aber mit ± 20% toleriert, so daß $R_{zmax} = 0{,}8\,k\Omega + 3\,k\Omega \pm$ Toleranz wird. Damit auf jeden Fall noch 3,62 kΩ erreicht werden, darf der 3-kΩ-Widerstand ebenfalls nur ein 5-%-Typ sein, wie man leicht ausrechnen kann. Das genügt dann auch dem ungünstigsten Fall. Bei positiven Toleranzen beider Widerstände und kleinstem Stellwiderstand (= 0) ergibt sich 3,15 kΩ + 1,89 kΩ = 5,04 kΩ, was noch mit Sicherheit unter dem zu erreichenden Wert von 5,34 kΩ liegt. Damit genügt die Schutzschaltung bezüglich der Toleranzen den Abgleichbedingungen, ohne daß unnötig genaue Widerstände erforderlich sind.
Dieses Beispiel einer Toleranzrechnung unter Verwendung handelsüblicher, also toleranzbehafteter Widerstände, zeigt die Problematik der toleranzunempfindlichen Schaltungsberechnung für den „schlechtesten (denkbaren) Fall", unter Technikern auch „worst case" genannt. Je genauere Widerstände man zur Verfügung hat, um so weniger braucht der Stellwiderstand auszugleichen. Das ist für eine erwünschte gute Langzeitkonstanz sehr wichtig, denn die ungeschützten Kohleschichten von Stellpotentiometern und die mit begrenztem Druck aufliegenden Schleifer unterliegen einer weit stärkeren zeitbedingten Widerstandsänderung als lackierte Festwiderstände. Die Hersteller von Vielfachmessern benutzen daher möglichst auch nur entsprechend genaue Festwiderstände, die für den Amateur nur selten erhältlich sind. Daher wurden im vorgestellten Modell überall Stellwiderstände herangezogen, allerdings möglichst nur immer für einen begrenzten Teil des Gesamtwiderstands. Entsprechend diesem Verhältnis geht der Einfluß der Widerstandsänderung auf das Ergebnis zurück. Eine jährlich einmal durchgeführte Überprüfung dürfte aber auch auf diese Weise relativ gute Eigenschaften sichern. Das gilt vor allem für die im folgenden Abschnitt abgeleiteten Dimensionierungshinweise.

4.3. Die Gesamtschaltung

Die aus Bild 24 und Bild 26 (entspricht dem umrandeten Teil von Bild 24) bereits bekannte Gesamtschaltung zeigt Eingänge für U_- in den Stufen 0,5 V, 1 V, 5 V, 10 V, 50 V, 100 V, (500 V) und (1000 V). Die beiden eingeklammerten Bereiche dienen im Muster aus Sicherheitsgründen, wie schon erläutert, nur zum Messen kleinerer Spannungen bei erforderlichen höheren Eingangswiderständen (Indikatorzwecke). Immerhin bedeuten 1000 V bei 20 kΩ/V 20 MΩ Eingangswiderstand, und 100 V kann man auf der großen Skale des Musters in diesem Bereich noch gut erkennen.
Beliebige Vorwiderstände für die Spannungsmeßbereiche berechnet man jeweils einfach so, daß die Differenz von U_M für Vollausschlag und Spannungsbedarf U_{Iges} des Anschlußpunkts (Instrument ohne Schutzschaltung: 33 mV im Mustergerät, mit Schutzschaltung 0,3 V) gebildet und durch den Instrumentenstrombedarf I_I für Vollausschlag dividiert wird: $R_{Mi} = \frac{U_{Mi} - U_{Iges}}{I_I}$; R in Ω, U in V, I in A. Der Buchstabe i bezeichnet den jeweiligen Bereich. Da für die folgenden Bereiche ab 0,5 V von diesem Punkt ausgegangen wird, ist U_{Iges} nur für den 1. Bereich 0,3 V und für die folgenden 0,5 V. Übrigens dient der 0,5-V-Bereich auch zur Strommessung bis 50 μA, da bei den Strommeßbereichen systembedingt von einem höheren Grundwert ausgegangen wird. Näheres folgt in Abschnitt 5.
Bei Gleichstrom erkennt man die Stufen 0,5 mA, 5 mA, 10 mA, 50 mA, 0,5 A, 5 A. Der 50-μA-Bereich ist mit dem 0,5-V-Bereich identisch, wie schon angedeutet. Widerstände lassen sich etwa zwischen 10 Ω und 5 kΩ (10 kΩ) messen (Bereich „x 1") und bei „x 100" zwischen etwa 1 kΩ und 500 kΩ (1 MΩ), sofern man die Skale so weit nach unten (entspricht den größten Widerständen) eicht und die großen Ablesefehler in Kauf nimmt. In Skalenmitte liegt jeweils der Wert für den Innenwiderstand. Für Wechselstrom wurden die Buchsen 50 mA~ und 500 mA~ vorgesehen und für Wechselspannung die Buchse 25 V~. Im Muster ist sogar nur 1 Wechselstrombuchse eingebaut, doch kann man leicht z. B. auf die 1000-V-Buchse verzichten und sie für Wechselstrom umschalten.

Der Fortgeschrittene kann natürlich noch weitere Bereiche einfügen bzw. dafür Gleichspannungsbereiche fortlassen. Auch ein Tastkopf mit eingebauten Widerständen ist denkbar. Zur Gleichrichtung dient eine Halbbrücke mit 2 gepaarten Dioden und 2 Widerständen.

5. Dimensionierung des Mustergeräts

5.1. Spannungsmeßbereiche

Die Grundformel für die Berechnung wurde bereits unter 4.3. gegeben. Der Spannungsteiler baut auf den beiden Grundwerten 0,3 V und 0,5 V auf und kann daher erst abgeglichen werden, wenn diese beiden Werte genau stimmen. Teilweise wurden Bereichswiderstände auch für andere Bereiche mit herangezogen, und zwar stets im Sinne der schon erläuterten Toleranzbetrachtung. Dadurch kommt man fast überall mit Widerstandstoleranzen von 10% für die Festwiderstände aus. Da der Stellwiderstandshub in den obersten Bereichen aber nicht ausreichen würde, wenn man nicht zu große Stellwiderstände benutzen will, wird z.B. die 500-V-Widerstandskette wahlweise an die 50-V- oder an die 10-V-Kette angelötet. Beim 1000-V-Bereich läßt sich ein Teil des Widerstands auswechseln (0 bis 1,8 MΩ).
Nach Einstellen der Werte 0,3 V und 0,5 V (Schutzschaltung und 1. Bereich) wird – wieder mit Hilfe eines guten Vergleichsspannungsmessers und einer einstellbaren Gleichspannungsquelle – von unten nach oben jeweils in den Bereichen genau Vollausschlag bei Nennspannung eingestellt. Achtung! Vor Beginn der Eichung muß der Zeiger des Instruments mit der von vorn zugänglichen Schraube genau auf 0 eingestellt werden (mechanischer Nullpunkt)!

5.2. Gleichstrombereiche

Die Gleichstrommeßbereiche erfordern ebenfalls Einstellbarkeit. Das funktioniert mit handelsüblichen Stellwiderständen noch bis zum Teilwiderstand 6 Ω; dort (Bereich 50 mA) wird das Potentiometer parallelgeschaltet und darf darum nie auf 0 stehen. Man beginnt daher etwa in Mittelstellung. Für 0,5 A und für 5 A braucht man selbstgewickelte Widerstände, am besten aus Konstantandraht, damit die strombedingte Erwärmung (etwa 1,7 W bei 5 A) den Wert möglichst wenig beeinflußt. Für diese beiden Bereiche nimmt man notfalls eine gewisse Toleranz in Kauf, die auf dem Instrument vermerkt werden kann, wenn die gerade vorhandene Drahtdicke eine für einen Feinabgleich zu kurze Drahtlänge ergeben sollte. Man gleicht sie so ab, daß, von einer größeren Länge beginnend, vorsichtig stückchenweise abgeschnitten wird. Dabei ist die verzinnte Länge kurz zu halten, da die Zinnhaut den Widerstandswert verringert. Vor dem Verzinnen muß die Drahtoberfläche mit Schmirgelleinen gut gesäubert werden; man verzinnt in reichlich Löttinktur, denn das Material ist nicht besonders „lötfreudig". Abgeglichen wird vom größten I-Bereich aus.
Das Kontaktproblem wird durch die Buchsenanschlüsse auf einfache Weise gelöst. Die Shunts bilden eine Kette, so daß der Strom vom entsprechenden Abgriff über den zwischen ihm und der 0-Buchse liegenden Widerstand fließt. Ein geringerer Teil (bei Vollausschlag im Mustergerät 50 µA) gelangt aber erst über den Umweg Buchse — oberer Teilwiderstand — Instrument zur 0-Buchse, und dieser Strom ruft die Anzeige hervor. Das heißt: Die jeweilige Bereichsbuchse bildet den „Knotenpunkt", in den hinein der gesamte zu messende Strom fließt, und von diesem Knoten aus teilt er sich in einen Strom durch das Instrument und in einen (größeren) durch den Shunt (Bild 27). Daher ist bei Strommessung wie folgt zu dimensionieren: Für Vollausschlag muß der Strom durch den Shunt eine Spannung in Höhe von $U_I + I_I \cdot R_{To}$ erzeugen (U_I, I_I Werte für Vollausschlag des Instruments einschließlich Schutzschaltung; für Mustergerät also 0,3 V und 50 µA). Dafür steht der Strom $I_M - I_I$ zur Verfügung, wenn I_M der Meßstrom für Vollausschlag laut Buchsenbeschriftung ist. R_{To} bezeichnet den Gesamtwert des Widerstands der Shuntkette zwischen Buchse und Instrument („oberer Widerstand").
Zunächst muß man festlegen, welcher kleinste Strom mit der Shuntkette gemessen werden soll. Da 50 µA Vollausschlag über die Spannungsmesserseite erfaßt werden, genügt es, mit 500 µA zu beginnen. Nur dieser Bereich kommt also tatsächlich mit 0,3 V aus ($R_{To} = 0$), während alle anderen $I_I \cdot R_{To}$

mehr Spannung für Vollausschlag erfordern. Im Interesse einer möglichst kleinen Gesamtspannung geht man also von einem nicht zu großen Shunt aus, also von einem nicht unnötig niedrigen untersten Bereich.

Man beginnt also mit der Berechnung des Shuntgesamtwerts: $R_{Tges} = \frac{U_I}{I_M - I_I}$, für das Muster heißt das,

$R_{Tges} = \frac{0{,}3\ \text{V}}{500\ \mu\text{A} - 50\ \mu\text{A}}$ und ergibt 667 Ω.

Für beliebige Bereiche gilt dann mit Bild 27 der Ansatz $(I_{Mi} - I_I) \cdot R_{Mi} = U_I + I_I (R_{Tges} - R_{Mi})$.
Darin bezeichnet R_{Mi} den Gesamtwert des zwischen Meßbuchse „i" und 0-Buchse liegenden Widerstands für den Strombereich I_{Mi}, während R_{Tges} der soeben ausgerechnete gesamte Shunt ist, der R_{Mi} enthält. Die Differenz $R_{Tges} - R_{Mi}$ entspricht dem oben benutzten Ausdruck R_{To}.
Durch Umstellen ergibt sich schließlich

$$R_{Mi} = \frac{U_I + I_I \cdot R_{Tges}}{I_{Mi}}$$

und mit den Werten des Musters

$$R_{Mi} = \frac{333{,}35}{I_{Mi}};$$

R in Ω, I in mA.
Damit erhält man für die einzelnen Widerstandswerte zwischen der jeweiligen Buchse und 0 diese Zuordnung:

Bereich I_{Mi}	0,5 mA	5 mA	10 mA	50 Ma	0,5 A	5 A 0-Buchse;
Widerstand R_{Mi}	667 Ω	66,7 Ω	33,4 Ω	6,67 Ω	0,667 Ω	0,067 Ω;
Teilwiderstände zwischen den Buchsen	600 Ω;	33,3 Ω;	≈ 26,7 Ω;	≈ 6 Ω;	600 mΩ;	67 mΩ.

Unter Berücksichtigung von Widerständen mit 10% Toleranz empfehlen sich folgende Kombinationen:
67 mΩ und 600 mΩ aus Konstantandraht wickeln;
6 Ω aus 8,2 Ω ± 10% mit 100-Ω-Stellwiderstand parallel;
27,7 Ω z. B. aus 33 Ω ± 10% mit 1-kΩ-Stellwiderstand parallel;
33,3 Ω aus 39 Ω ± 10% mit 1-kΩ-Stellwiderstand parallel;
600 Ω aus 560 Ω ± 10% mit 250-Ω-Stellwiderstand in Serie (wie im Mustergerät) oder 820 Ω ± 10% mit 10-kΩ-Stellwiderstand parallel.

5.3. Widerstandsmessung

Das Ohmmeterprinzip geht bereits aus Bild 20 hervor. Im Mustergerät dient ein 2-V-Kleinakkumulator RZP 2 als relativ spannungskonstante Quelle. Nach ihm wurde die Schaltung dimensioniert. In Mittelstellung sollten 10 kΩ („x 100") bzw. 100 Ω angezeigt werden („x 1"). Das bedeutet bei einem möglichen Spannungshub des Akkumulators (über die gesamte Nutzungsdauer gesehen) von 2,2 bis 1,8 V einen Strom zwischen 0,22 mA und 0,18 mA im Bereich „x 100". Das Instrument muß also geshuntet werden; mit dem Shunt stellt man bei Kurzschluß der R_x-Klemmen unter allen Betriebsverhältnissen (U_{max} bis U_{min}) Vollausschlag entsprechend „0 Ω" ein. Diesen Shunt legt man unmittelbar zum Meßwerk parallel. Das gewährleistet die geringste Abweichung des Gesamtwiderstands im Meßkreis, denn es soll ja stets gelten: Halber Ausschlag zeigt R_{iges} an, d. h., $R_x = R_{iges}$ für $I = \frac{I_{max}}{2}$ im Meßkreis. Höhere oder niedrigere Batteriespannung berücksichtigt man bezüglich der Anzeige durch den variablen Shunt parallel zum Meßwerk, wobei sich R_{iges} möglichst wenig ändern soll. Das bedeutet auch konstante Anzeigepunkte, nur der Meßstrom selbst (der durch R_x und R_i fließt) ändert sich mit U_{Batt}. Der Shunt variiert also im gleichen Sinne den Strommeßbereich der Kombination Instrument parallel R_{sh} derart,

daß wieder die gleichen Ausschläge zu den R-Markierungen der Skale gehören. Man stellt daher so ein, daß der gesamte Strommesser bei 2,2 V 220 µA Ausschlag hat ($I_{max} = \frac{U_{max}}{R_i\ (\approx \text{konst})}$) und bei 1,8 V 180 µA.
Tatsächlich variiert natürlich R_{iges} etwas, nämlich um (Bereich „x 100") $\Delta R = \frac{U_I}{I_{min}} - \frac{U_I}{I_{max}}$, das sind bei $U_I = 33$ mV im Muster aber nur 0,33%. Würde man also in die Parallelschaltung die Schutzschaltungswiderstände bis zum Punkt 0,3 V mit einbeziehen, so ergäbe sich bereits ein Fehler von 3%! Daher wird der Shunt bei R-Messung an k-m entsprechend Bild 26 angeschlossen, wie aus Bild 24 hervorgeht.
Zunächst ermittelt man die Shuntwerte für maximale und für minimale Batteriespannung: Bei 33 mV Vollausschlag des Musterinstruments und 180 bis 220 µA Gesamtstrom bei der R-Messung wird ein Shunt von $\frac{33\,\text{mV}}{(220-50)\,\mu\text{A}}$ bis $\frac{33\,\text{mV}}{(180-50)\,\mu\text{A}}$ (in kΩ) benötigt. Man setzt ihn aus einem Festwiderstand und einem Drehwiderstand zusammen. Unter Berücksichtigung der Toleranzen liefert eine Serienschaltung von 180 Ω ± 5% mit einem 100-Ω-Potentiometer einen gerade noch ausreichenden Stellbereich. Der Stellwiderstand ist von außen zugänglich (Schraubenzieher oder kleiner Knopf); geeicht wird auf Vollausschlag bei mit Prüfschnur kurzgeschlossener Ω-Buchse (gegen 0-Buchse), wenn kein Platz für eine Taste zur Verfügung steht. (Im Muster würde sie in die obere Deckplatte passen.)
R_v wird für Nennspannung ausgerechnet: Der Strommesser hat einschließlich Shunt bei 200 µA und 33 mV einen Widerstand von 165 Ω. Bis 10 kΩ bleiben also noch 9,835 kΩ. Man realisiert sie z. B. mit 9,1 kΩ 5% in Serie mit einem 2,5-kΩ-Potentiometer oder sucht wie im Muster einen im Wert genügend günstigen 10-kΩ-Festwiderstand aus (z. B. 10 kΩ 2%). Er liegt aus Schaltverknüpfungsgründen bei R-Messungen direkt an „k" des Instruments. Würde man bei R-Messungen also an höhere Spannungen geraten, so wäre das Instrument wieder gefährdet. Man kann aber den 10-kΩ-Widerstand aufteilen und mit 2 Siliziumdioden analog der beschriebenen Schutzschaltung auch eine solche einsetzen, die bei R-Messungen wirksam ist. Allerdings dürfte die Gefahr der Fehlbedienung in den R-Bereichen infolge der Buchsenlage und der Notwendigkeit, 2 Tasten zu drücken, klein sein. Für die Einstellung auf genau 10 kΩ kann man sich einen genauen 10-kΩ-Widerstand besorgen (z. B. Stellpotentiometer 25 kΩ an genauem Ohmmeter abgleichen) und mit ihm als R_x am 1-kΩ-Stellwiderstand auf genau 50% Skalenausschlag einstellen ($U_{Batt} = 2$ V, Stellwiderstand Mittelstellung). Es lassen sich nun R-Skalenwerte ausrechnen entsprechend $I = \frac{U_{Batt}}{R_i + R_x}$ oder für Nennwerte $I = \frac{2\,\text{V}}{10\,\text{k}\Omega + R_x}$, d. h., man setzt glatte R_x-Werte ein und berücksichtigt die Skalenteilung mit $I_{max} = 0{,}2$ mA (das sind im Muster 50 Skalenteile) für $R_x = 0$ bis $I = 0$ für $R_x = \infty$ sowie $R_x = R_i = 10$ kΩ für $I = \frac{I_{max}}{2}$. Einsetzen weiterer Werte für R_x ergibt den bekannten hyperbolischen Skalenverlauf, der sich am Bereichsanfang in Richtung kleiner Zeigerausschläge (d. h. wachsender R_x) stark zusammendrängt. Man wird also kaum weiter eichen als bis z. B. 5% Ausschlag oder im vorliegenden Fall bis etwa 0,8 MΩ; 1 MΩ dürfte gerade noch zu „ahnen" sein. Ebensogut kann man natürlich glatte, genau bekannte Widerstandswerte zur Eichung benutzen. Auch sie lassen sich leicht über ein Potentiometer an einem anderen, genauen Ohmmeter einstellen. Im übrigen sei noch der Hinweis gestattet, daß infolge der Übereinkunft, die beiden Bereiche mit „x 1" und „x 100" zu bezeichnen, am Punkt 10 kΩ der Wert 100 Ω einzutragen ist und bei 1 MΩ, falls bis dorthin geeicht wird, 10 kΩ.
Der Bereich „x 1" selbst erfordert einen Innenwiderstand von 100 Ω. Im Meßkreis fließen also jetzt maximal 20 mA. Läßt man 1% Unsicherheit zu, so genügt es, einfach dem gesamten Instrumentenkreis hinter der Batterie einen genauen 100-Ω-Widerstand parallelzuschalten. Genauer gilt $R_i = 10\,\text{k}\Omega // R_{„x1"}$ d. h., man müßte 101 Ω zuschalten. Geht man wieder von 10-%-Werten aus, wo wären 120 Ω ± 10% mit einem 5-kΩ-Stellwiderstand parallelzuschalten. Mit einem „fremdgeeichten" 100-Ω-Widerstand als R_x wird dann wieder auf 50% Skalenwert am 5-kΩ-Potentiometer eingestellt ($U_{Batt} = 2$ V, Shunt am Instrument Mittelstellung). Der unbekannte Widerstand sollte – besonders im Bereich „x 1" — nur für die Dauer der Messung angeschlossen bleiben, denn immerhin fließen bei „x 1" maximal 20 mA. Aus diesem Grund wird auch die Eichung bei Verwendung von Normalwiderständen im Bereich „x 100" vorgenommen, wo bei Vollausschlag nur 0,2 mA fließen.
Für die Ohmskale kann außerhalb des Instruments ein Kartonstreifen vorbereitet werden, den man

z. B. gemäß Bild 28 über Polarkoordinaten-Millimeterpapier (ggf. mit Winkelmesser selbst angefertigt) auf die (im Muster) 50 Skalenteile bezieht und unterhalb der vorgegebenen Skale befestigt. Man klebt sie aber erst an, wenn man auf diesem Hilfsblatt auch die Wechselstromskale angebracht hat (s. unten). Fotoamateure zeichnen die Skale auf Transparentpapier mit Tusche und fertigen eine Kontaktkopie an. Das ergibt weiße Marken auf schwarzem Grund. Eine vergrößerte Tuschvorlage, fotografiert und wieder im richtigen Maßstab auf Fotopapier kopiert, bereitet wesentlich mehr Arbeit, ergibt aber schwarze Marken auf weißem Grund. Im Muster wurde die Skale unmittelbar mit Bleistift beschriftet – man braucht dazu eine ruhige Hand. Radieren ist möglich.

5.4. Wechselstrom und Wechselspannung

Diese Bereiche werden entsprechend Bild 29 mit Hilfe eines Vergleichsinstruments und eines Niederspannungs-Schutztransformators geeicht. Damit umgeht man einen Rechnungsgang, der infolge der Nichtlinearitäten der Gleichrichter besonders am Skalenanfang doch keine genauen Werte liefern würde.
Die Wechselstrommessung bezieht sich auf einen Spannungsbedarf von 1 V. Das erschien als gerade noch sinnvoller Kompromiß zwischen Einfluß der Dioden und Skalenverlauf. Betrachtet man Bild 30, so erkennt man den Einfluß der Diodenkennlinie (Darstellung bezieht sich auf Einweggleichrichtung). Im „Arbeitswiderstand" ist das Meßwerk enthalten. Steht also über der Kombination gerade 1 V, dann teilt sich diese Spannung entsprechend dem Schnittpunkt der Widerstandsgeraden mit der Diodenkennlinie auf Diode und Widerstand auf. Das ist der Vollausschlagfall. Für ihn gilt also $R = \frac{1\,\text{V} - U_D}{I_D}$.
Für kleinere Spannungen verschiebt sich die R-Gerade parallel, denn sie muß immer auf der Abszisse bei der anliegenden Spannung beginnen. Der Schnittpunkt auf der Diodenkennlinie wandert dabei weiter nach unten. Damit entfällt jetzt ein größerer Anteil der Spannung auf die Diode, so daß $\frac{U_{Rv}}{R}$ kleiner wird, als wenn die Diodenkennlinie eine Gerade wäre. Schließlich erreicht man einen Punkt, bei dem (theoretisch) gar kein Strom mehr fließt, obwohl noch $U_{Schwell}$ der Diode an Diode plus R liegt. Ergebnis: Am unteren Skalenende sind die Werte stärker zusammengedrängt als oben, und in der Nähe des Nullpunkts kann man gar nicht mehr messen. Da die Schwellspannung von Germaniumdioden wesentlich niedriger liegt als bei Siliziumdioden, werden sie heute trotz größerer Sperrströme (die das Ergebnis ebenfalls fälschen) noch als Meßgleichrichter benutzt.
Wegen des Diodensperrstroms kann man im übrigen auch nicht die volle Stromempfindlichkeit des Instruments ausnutzen, sondern muß in Widerständen einen Teil der sonst zur Messung benutzten Energie umsetzen. Die beiden Halbbrückenwiderstände durch 2 weitere Dioden zu ersetzen empfiehlt sich auch nicht, da es schwierig ist, möglichst gleiche Kennlinien zu finden. Im Ergebnis all dieser Tatsachen weisen übliche Vielfachmesser mit 20 kΩ/V in den Gleichspannungsbereichen bei Wechselspannung nur 2 bis 4 kΩ/V auf. Bei unserer vereinfachten Lösung ist es allerdings nicht nötig, einen genauen Bezugswert einzuhalten, da die wenigen Bereiche einzeln geeicht werden. Man muß nur die Größenordnung bezüglich der möglichen Meßkreisfälschung kennen.
Bei 1 V Spannungsbedarf braucht man für 50 mA einen Gesamtwiderstand von 20 Ω und für 0,5 A von 2 Ω. Das können unmittelbar die Werte der Meßwiderstände sein, denn bei der empfohlenen Dimensionierung fällt der Brückeneingangswiderstand kaum noch ins Gewicht, der diesen Widerständen parallelliegt. Man gewinnt diese Widerstände in der bekannten Weise. Das Instrument wird direkt aus der Halbbrücke gespeist, wobei die in Bild 31 dargestellten Verhältnisse gegeben sind. In jeder Halbwelle der anliegenden Spannung wirkt hinter der gerade geöffneten Diode die Serienschaltung eines Halbbrückenwiderstands mit dem Instrument und dem Abgleichwiderstand; der andere Halbbrückenwiderstand liegt Instrument und erstem Widerstand parallel.
Der Skalenverlauf der Strommeßbereiche wird also von den Dioden merklich beeinflußt, da die höchste zur Verfügung stehende Spannung nur 1 V beträgt. Weniger kritisch ist das bei der Spannungsmessung im Bereich 25 V, denn jetzt macht 1 V nur 1/25 des Bereichs aus, und die Nichtlinearität bezieht sich damit vorwiegend auf den unteren Skalenbereich. Das kann man ggf. vernachlässigen und damit den Abgleich des Wechselspannungsbereichs 25 V auf Vollausschlag der normalen Skale hin vornehmen. Im Muster lag 1 V bei 1,7 Skalenteilen, und 2 V lagen bei 3,7 Skalenteilen. Schon 3 V brachten nahezu Deckung mit glatten Skalenwerten (5,9 Skalenteile).

Die Wechselstrom- und die Wechselspannungsbereiche sind nicht auf der Hauptleiterplatte untergebracht. Man kann also den Vielfachmesser zunächst nur für Gleichstrom, Gleichspannung und Widerstand aufbauen und diese Bereiche später in „Verdrahtungstechnik" zwischen den auf der Leiterplatte schon vorgesehenen Buchsen und dem Tastenschalter vornehmen, eventuell mit Hilfe einer zweiten Leiterplatte (Bild 37).

6. Aufbaubeispiel

Das Instrument des Mustergeräts hat relativ große Abmessungen (120 mm × 130 mm Frontfläche). Das Gehäuse wurde diesem Format angepaßt. Es besteht aus 4 bis 5 mm dickem Hartpapier (es kann auch PVC sein oder Sperrholz). Die Platten wurden nach Bild 32 zusammengesetzt, mit 1-mm-Drahtstückchen in 1-mm-Bohrungen verstiftet und vorher mit EP-11-Kleber bestrichen. Vor Auftragen des Klebers sind die Klebeflächen mit feinem Schmirgelleinen anzurauhen, damit die den Kleber abweisende Preßhaut verschwindet. Nach 24 Stunden Aushärtezeit setzt man das Instrument entsprechend Bild 33 mit Hilfe von Blechwinkeln ein.
Der Platz neben dem Meßwerk wurde so bemessen, daß die beschriebene „Grundausstattung" auf eine Leiterplatte dieser Fläche paßt (vgl. die Bemerkungen zur Unterbringung der Wechselstrombereiche!). Bild 34 zeigt die nach Bild 24 entworfene Leiterplatte. Sie wird gemäß Bild 35 bestückt. Sie wirkt im Zusammenhang mit der aus Bild 36 hervorgehenden Schalterverdrahtung! Die Verbindungsstellen (auf der Leiterplatte über Lötösen) wurden auf beiden Bildern gekennzeichnet. Der Tastenschalter wird auf der Leiterplatte befestigt. Die Vorderwand des Gehäuses ist mit Bohrungen entsprechend der Lage von Tasten und Buchsen auf der Leiterplatte zu versehen. Das Gehäuse wird durch eine eingepaßte Rückwand geschlossen. Die Leiterplattenbefestigung fiel im Muster etwas knapp aus, wie die Fotos vielleicht erkennen lassen, weil eine gerade vorhandene Plattenbreite verwendet wurde (2,5 mm schmaler als nach Bild 35/Bild 36). Es wird also nicht schwerfallen, beim Nachbau mit Hilfe von Abstandsröhrchen und entsprechend langen Senkschrauben die Leiterplatte an passenden Stellen zu befestigen, wie auch in der Leiterplattenzeichnung angedeutet.
In das Gehäuse passen selbstverständlich auch kleinere Instrumente, doch wirkt das Gesamtbild dann weniger gut. Man zieht in diesem Fall die Frontplatte über das gesamte Gehäuse (wegen der Leiterplattengröße wird man die Höhe nicht verändern) und versieht sie mit einem Durchbruch für das kleinere Instrument. Dabei bedenke man, daß im Muster die Leiterplatte noch unter den Frontrahmen reicht! Darüber hinaus würde ein kleineres Instrument Fläche frei machen, die z. B. weitere Buchsen für Wechselspannungen und Wechselströme aufnehmen könnte. Auch ein hochohmiger Transistorvoltmeterzusatz ist denkbar, für dessen Beschreibung der vorliegende Bauplan leider keinen Platz mehr läßt. Der Leser findet dazu in der einschlägigen Literatur einige Hinweise (z. B. unter 8.).
Kleinere Instrumente gestatten auch ein Verringern der Gehäusetiefe, sofern das der Tastenschalter noch zuläßt.
Das gegebene Instrument ist für senkrechte Gebrauchslage vorgesehen, so daß die aus Tubenverschlüssen gewonnenen Füße an die entsprechende Rahmenseite geschraubt werden. Bei waagerechter Lage befestigt man sie an der Rückwand.
Das Gehäuse läßt sich, wenn man es gründlich entfettet und ggf. leicht angerauht hat, mit Autolack aus der Spraydose in einer beliebigen Farbe spritzen, vorausgesetzt, man zieht nicht die Materialoberfläche selbst als Oberfläche vor. Für die Beschriftung der Buchsen und des Schalters gibt es mehrere Möglichkeiten: direktes Beschriften, Fotopapier über Transparent-Kontaktabzug (Tuscheoriginal auf Transparent) oder als Aufnahme und Kopie einer vergrößerten Vorlage. Diese kann man dann auch auf Planfilm kopieren und erhält eine ansprechend wirkende Vorderfläche.

7. MOSFET-Vielfachmesser-Zusatz

Mit einem Verstärker kann eine beträchtliche Erhöhung des Eingangswiderstands von Spannungsmessern erreicht werden, d. h., man benötigt, bezogen auf ein bestimmtes Instrument, nur noch einen Bruchteil des sonst erforderlichen Stroms. Verständlicherweise braucht ein solcher Verstärker eine

Speisespannung. Das ist der eine Nachteil, der von den Vorteilen der „stromarmen" Messung meist aufgewogen wird. Der andere Nachteil liegt in der Notwendigkeit, zeitlich oder von den Umgebungsbedingungen (Temperatur, Betriebsspannung) abhängige Anzeigeschwankungen abzufangen bzw. das Gerät entsprechend nachzustimmen. Solche Einflüsse verringern sich in Schaltungen, bei denen 2 gleichartige „aktive" Elemente (früher Röhren, s. Röhrenvoltmeter, später bipolare Transistoren, heute Feldeffekttransistoren) in einer symmetrischen Schaltung eingesetzt werden. Gleichgerichtete Änderungen kompensieren sich dann weitgehend, es sei denn, die Exemplare haben unterschiedlich starke Abhängigkeiten. In dieser Hinsicht sind 2 Halbleiterbauelemente, die auf einem gemeinsamen „Substrat" untergebracht sind, günstiger als Einzelbauelemente. Der Doppel-Metalloxid-Silizium-Feldeffekttransistor („Doppel-MOSFET") SMY 51 (bzw. SM 251) gehört zu diesen Bauelementen. Obwohl für die Digitaltechnik geschaffen, zeigte sich bei Tests an einer Reihe von Exemplaren, daß er gut für „driftarme" (d. h. ihre Zeigernullage nur wenig ändernde) Voltmeter geeignet ist.

Kurzinformation zum MOSFET SMY 51
MOSFET können – je nach Herstellungsart – durch positive oder durch negative Eingangsspannung gesteuert werden. Da die Steuerelektrode („Gate") isoliert aufgebracht ist, fließt praktisch kein Steuerstrom (reine Spannungssteuerung – gegenüber den üblichen „bipolaren" npn- oder pnp-Transistoren mit ihrem Steuerleistungsbedarf ein großer Vorteil!). Die Empfindlichkeit kann daher als „Steilheit" der Ausgangsstrom-Eingangsspannungskennlinie, also in mA/V, angegeben werden, wie es früher bei Röhren üblich war. Der SMY 51 ist ein p-Kanal-Anreicherungstyp. Das bedeutet: Der vom Gate = Tor (G) gesteuerte Kanal (Anschlüsse Source = Quelle, mit Emitter vergleichbar, und Drain = Senke, Abfluß, vergleichbar mit Kollektor) ist zunächst nichtleitend, auch wenn an Drain (D) eine gegen Source (S) negative Spannung (wie vorgeschrieben) angelegt wird. Erst bei einer negativen Spannung von mehr als 5 V (an Basteltypen wurden bis zu 7,5 V festgestellt) beginnt ein Strom von D nach S zu fließen („technische" Stromrichtung, die von Plus nach Minus rechnet). Die Kennlinien in Bild 38 verdeutlichen das. In dem beschriebenen MOSFET-Voltmeter wird der Transistor in einer Art betrieben, die der Kollektorschaltung ähnlich ist, d. h., der Ausgangskreis liegt am Source.
Im begrenzten Rahmen des vorliegenden Bauplans müssen diese Aussagen genügen.

7.1. Schaltung und Einstellhinweise

Das Voltmeter mit Ohmmeterteil (Bild 39) besteht aus den Baugruppen Eingangsteiler mit Betriebsartenschalter (mit Einschalter kombiniert) und dem eigentlichen Voltmeterteil, an dessen Ausgang ein möglichst empfindliches Meßwerk kleinen Strom- und Spannungsbedarfs anzuschließen ist. Das 50-μA-Meßwerk des vorn beschriebenen „passiven" Vielfachmessers ist dafür gut geeignet (U_{voll} ohne Schutzschaltung nur 33 mV). Prinzipiell können bei Änderung der beiden 8,2-kΩ-Widerstände auf kleinere Werte bei erhöhter Stromaufnahme aus der Batterie auch Instrumente bis zu z. B. 1 mA Strombedarf angeschlossen werden, und höhere Eingangsspannungen als etwa 180 mV bedeuten höheren Vollausschlagwert im untersten Bereich (z. B. nur 0,5 V statt 0,25 V erreichbar).
Das Voltmeter enthält eingangsseitig eine Schutzschaltung, die den MOSFET schützt, gleichzeitig aber auch die Belastung des Instruments bei Übersteuerung in zulässigen Grenzen hält. Das Prinzip entspricht dem des oben bereits beschriebenen Instrumentenschutzes im „passiven" Vielfachmesser. Der MOSFET selbst enthält ebenfalls schon integrierte Schutzdioden, die aber hauptsächlich die früher oft verhängnisvolle Empfindlichkeit älterer MOSFET (z. B. SM 103/SM 104) gegen statische Aufladungen beseitigen sollen. Ihr maximal zulässiger Flußstrom beträgt nur 0,1 mA! In der vorliegenden Schaltung heißt das Schutz des Transistors bis U_{max} = 100 V.
Die außen zugeschalteten Dioden schützen also gegen größere Spannungen und damit größere Ströme durch die Dioden bei falscher Bereichswahl und arbeiten mit dem 1-MΩ-Eingangswiderstand zusammen, der außerdem mit dem 10-nF-Kondensator einen Tiefpaß gegen unerwünschte Wechselspannungen („Brumm" usw.) bildet. Solange im vorgesehenen Bereich gemessen wird, ist dieser Pfad praktisch „stromlos", denn beim MOSFET liegt ja reine Spannungssteuerung vor. Damit das bei den vorgesehenen Meßspannungen bezüglich der Schutzdioden praktisch auch gewährleistet ist, empfiehlt es sich, die (relativ preiswert erhältlichen) Plastdioden in folgender Weise auszusuchen: Zunächst wird

das Gerät ohne D 1 und D 2 in Betrieb genommen. Dann werden zunächst für D 2 probeweise einige Dioden nacheinander eingesetzt. Man benutzt das Exemplar, bei dem sich der Nullpunkt möglichst gar nicht ändert. Eine solche Diode wird auch für D 1 gewählt. (Bitte nicht „D 1" als Anschluß an T 1 mit „D 1" als Diode verwechseln!)
Die Spannungsmessung erfolgt am Eingang G 2 des Doppel-MOSFET SMY 51 (T 1) gegen 0. G 1 liegt praktisch (über R 30) an 0.
Der linke Teil von T 1 wirkt nun als steuerbarer Widerstand, der seinen Wert in Abhängigkeit von der anliegenden Gatespannung ändert. Der rechte Teil, der sich auf dem gleichen Träger aus Silizium befindet („Substrat"), hat im allgemeinen auch nahezu gleiche Eigenschaften wie der linke Teil. Temperatureinflüsse, die z. B. den Widerstandswert des linken Kanals ändern, ändern damit auch den des rechten in gleicher Weise. Da die Ausgänge beider Zweige in einer Art Brückenschaltung verknüpft sind, ergibt sich, daß gleichsinnige Änderungen beider Kanäle im Instrument nicht wirken können, sondern nur die Steuerspannung, die ja nur auf den linken Kanal Einfluß nimmt.
T 1 bildet einen Impedanzwandler, dessen Sourceströme von den Stromgeneratoren T 2 und T 3 konstantgehalten werden. Dadurch bildet sich die Steuerspannung über die Widerstandsänderung des S-D-Kanals als analoge Ausgangsspannung ab (Faktor etwa 0,75). T 2 und T 3 sind gewissermaßen sehr hochohmige Arbeitswiderstände. D 3 bestimmt die Basisspannung der beiden pnp-Germaniumtransistoren, gegen Plus gemessen. Der Strom durch D 3 ist infolge der Speisung über T 4 und T 5 in weiten Grenzen von der Betriebsspannung unabhängig (im Mustergerät zwischen 6 und 15 V). T 4 und T 5 entlasten als Emitterfolger den Impedanzwandler T 1 gegenüber dem angeschlossenen Instrument. Schließlich liefern sie noch an D 4 eine Spannung von etwa 0,6 V, die die Schutzdiode D 2 für die „normalen" Meßspannungswerte sperrt. Sie wird außerdem – entsprechend geteilt – als Spannung für das Ohmmeter benutzt.
Der Nullpunktabgleich erfolgt am 500-Ω-Potentiometer bei Eingang an Masse. Sollte das nicht gelingen, so liegt ein weniger geeignetes Exemplar vor. (Dieser Fall trat bei den Autoren allerdings nicht auf.) Man müßte dann einen Teil der Spannung von D 4 an das gegen 0 liegende Gate führen und eventuell den gesamten Doppel-MOSFET umdrehen (also z. B. von der Leiterseite aus anlöten). Der Vollausschlagabgleich am 10-kΩ-Stellwiderstand setzt eine genaue Eingangsspannung von 0,25 V am Eingangsteiler voraus. Man wird also auf diesen erstmaligen Vergleich mit einem genauen Instrument (das niederohmig sein darf) nicht verzichten können. In dieser Weise werden dann von unten nach oben alle anderen Bereiche verglichen und eingestellt. (Der Stellwiderstand für I_{max} und alle bereits abgeglichenen Potentiometer dürfen dabei nicht mehr verändert werden!). Der Betriebsartumschalter, in der 1. Schaltstellung auf „Aus", gestattet in Stellung „Batterie" deren Kontrolle. (Grenzmarke für die Batteriespannung anbringen, bei der gerade ein Zeigerrückgang bei einer konstant anliegenden Meßspannung feststellbar ist.) In Stellung „x 10" gilt ein Eingangswiderstand von 100 kΩ/V und damit der 10fache Spannungsbedarf an den einzelnen Meßbuchsen; größter Vollausschlag bei Buchse „100 V" ist dann 1000 V. In Stellung „x 1" gilt als kleinster Bereich 250 mV Vollausschlag (bei 1 MΩ/V in allen Bereichen). Die beiden Ohmmeterbereiche beziehen sich jeweils auf Zeigermittelstellung (vgl. die Anleitung zum „passiven" Vielfachmesser, Skalenteilung genau wie dort ermitteln). Die beiden Bereiche schließen mit guter Überlappung nach oben hin an den „passiven" Vielfachmesser an. Eichung erfolgt ebenfalls wie dort: bei kurzgeschlossenen R_x-Klemmen mit dem 1-kΩ-Potentiometer Zeiger auf 0 Ω stellen; vorher Nullpunkt des Geräts überprüfen!

7.2. Aufbau

Der Vorteil des vorher beschriebenen Vielfachmessers liegt – abgesehen vom Ohmmeterteil – in seiner Wartungsfreiheit. Man wird sich daher ein solches Gerät sicherlich meist vor einem MOSFET-Voltmeter bauen, zumal sehr viele Betriebsmessungen keinen extrem hohen Eingangswiderstand brauchen. Daher wurde die MOSFET-Variante als Zusatz konzipiert, der das Anzeigeinstrument des Vielfachmessers mitbenutzt. (Selbstverständlich kann die Schaltung nach Bild 39 aber auch ein eigenes Instrument erhalten. Man baut dann das Ganze z. B. so wie den „passiven" Vielfachmesser entsprechend der Beschreibung dieses Bauplans.)
Bei den Leiterplatten sind folgende Dinge zu beachten: Isolationsströme und Kriechstrecken. Die Ströme spielen eine Rolle, weil sie bei den hohen Eingangswiderständen des SMY 51 Potentialfälschungen am Gate verursachen können, und die Kriechstrecken sind bei der Auslegung des

1000-V-Eingangs (sofern er vorgesehen wird – vgl. die Aussagen beim „passiven" Vielfachmesser) von Bedeutung. Gegen Isolationsströme hilft gründliches Wässern nach dem Ätzen. Außerdem sollten die Bohrungen erst nachträglich angebracht werden, und die Leiterplatte ist zunächst allseitig etwa 10 mm größer als im Endzustand vorzusehen. Das in den Rand eingedrungene Ätzmittel fällt dann beim Konturensägen automatisch ab.
Die für den 1000-V-Bereich erforderlichen Kriech- und Luftstrecken bedingen einen größeren Abstand der 1000-V-Buchse von anderen Leitungszügen und eine entsprechende Anordnung der Widerstände. Im Muster war das infolge des vorgegebenen Volumens etwas problematisch. Statt des 1000-V-Anschlusses kann jedoch auch mit einem entsprechend isolierten Tastkopf gearbeitet werden, der die Widerstände enthält, die zwischen letzter und vorletzter Buchse liegen und den man in die vorletzte Buchse einsteckt. Man beachte, daß die Anzeige „1000 V" ohnehin aus der für 100 V durch Umschalten des Teilers auf 100 kΩ/V gewonnen wird. Die Notwendigkeit, bis 1000 V zu messen, tritt beim Amateur auch nur selten auf. Anfänger sollten daher den 250-V-Bereich als höchsten ansehen (25-V-Buchse, Teiler auf „x 10") bzw. den 1000-V-Bereich nur etwa bis 500 V ausnutzen (der oberen Grenze von „normalen" älteren Geräten mit Röhrenbestückung).
Bild 40 und Bild 41 zeigen die Leitungsmuster und die Bestückungspläne der beiden Leiterplatten.
Die Teilerplatte trägt den Betriebsartenschalter, einen 1-Ebenenschalter mit 2 × 6 Stufen von „Febana". Beide Platten können in einem Gehäuse aus den seit Mitte 1974 erhältlichen neuen Gehäuseteilen von „Amateurelektronik" (s. Bauplan Nr. 26) untergebracht und mit Gleitschienen fixiert werden. Die Vorderwand erhält Löcher für Buchsen und Schalter, die Rückwand bleibt abnehmbar. Gemäß Bild 42 werden 4 RZP-2-Kleinakkumulatoren übereinaader von hinten eingeschoben. Als Träger dient eine über der hinten unten montierten MOSFET-Platte eingesetzte Platte. Von den Batteriebehältern (ebenfalls „Amateurelektronik") sind die „Kufen" mit einem scharfen Messer zu entfernen. Man kann je 2 Behälter dann mit den Breitseiten gegeneinanderkleben; die beiden Paare erhalten beim Einschieben eine Isolierzwischenlage.
In der vorliegenden Variante wurde der Zusatz von links an das Hauptgerät über Stecker und Buchsen mechanisch und elektrisch (bei Bedarf) angesteckt. Ein zusätzlicher Umschalter im Hauptgerät, oben links im Titelfoto sichtbar, dient zum 2poligen Umschalten des Instruments auf „MOSFET-Betrieb". Als kleine, aber sehr praktische Ergänzung gegenüber Bauplan Nr. 23 erkennt man den am Gehäuse angebrachten Tragegriff, einen Möbelgriff aus der „Heimwerker"-Abteilung. Solche Griffe sind für tragbare Geräte sehr zu empfehlen.

Wichtiger Hinweis
Bis zum Einlöten sollte man die Anschlüsse jeder Seite des MOSFET mit einem blanken, dünnen Draht überbrücken (zwischen die Anschlüsse „flechten"). Der Draht wird erst entfernt, wenn alle Lötstellen fertiggestellt sind. Zwar hat der SMY 51 Gateschutzdioden, doch bieten diese gegen höhere Spannungen (Aufladungen größerer Energien, Fehlspannungen z. B. vom ungeerdeten Lötkolben u. ä.) keinen absoluten Schutz. Die kleine Mühe lohnt sich also.

8. Literatur

Grundsätzliches zum elektrischen Messen findet der Leser in Drachsel: „Elektrische Meßtechnik" (VEB Verlag Technik), im Text als [1] bezeichnet. Für Anfänger gibt es im Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik in der Reihe „Der junge Funker" die Broschüre „Messen – aber wie", und in den Fachzeitschriften vergangener Jahre wurden einige Vielfachmesserschaltungen vorgestellt: so in „radio und fernsehen", H. 23/55 und H. 4/59. In H. 16/63 ist der „Vielfachmesser III" vollständig beschrieben.
Transistorvoltmeter, die (auch mit weniger empfindlichen Meßwerken) sehr hohe Eingangswiderstände ermöglichen, z. B. 10 MΩ in allen Bereichen, findet der Leser u. a. in „radio und fernsehen", H. 8/59 (Ge-Transistoren), im „Elektronischen Jahrbuch" 1971 (Si-Transistoren) und im „Elektronischen Jahrbuch" 1970 und 1972 (MOSFET).
Sie alle erfordern Abgleich vor jeder Meßreihe, und für den Bau benötigt man meist speziell ausgelesene Transistorpaare. Dennoch muß man mit temperaturbedingten Änderungen rechnen. Das ist beim vorliegenden Doppel-MOSFET-Voltmeter günstiger. Außerdem setzt der Bau selbstverständlich Erfahrungen im Umgang mit Transistoren voraus.

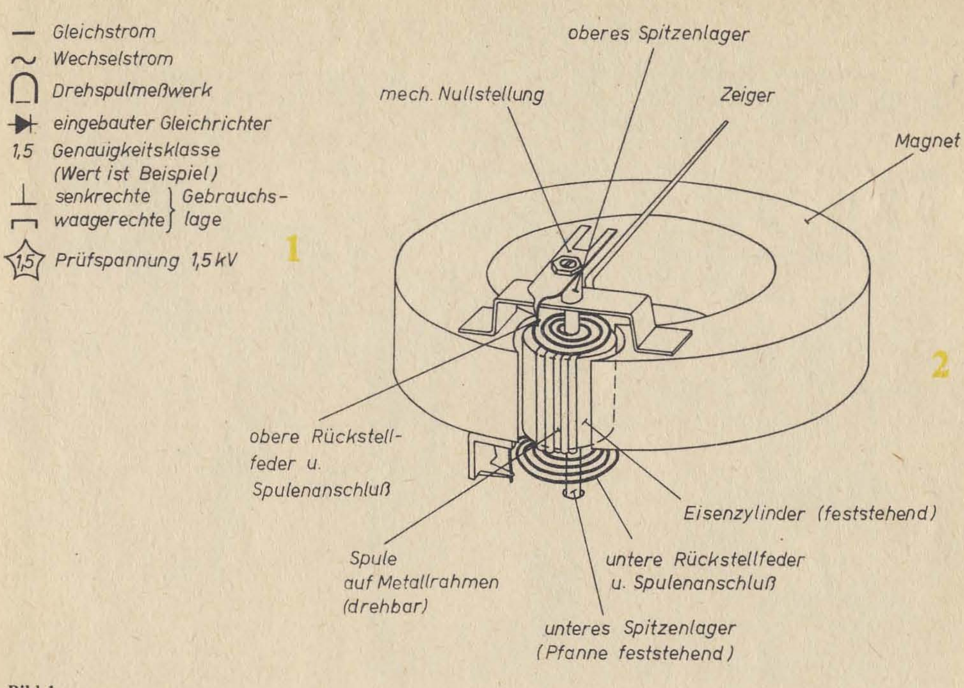
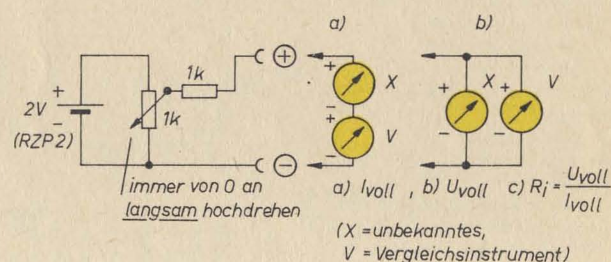
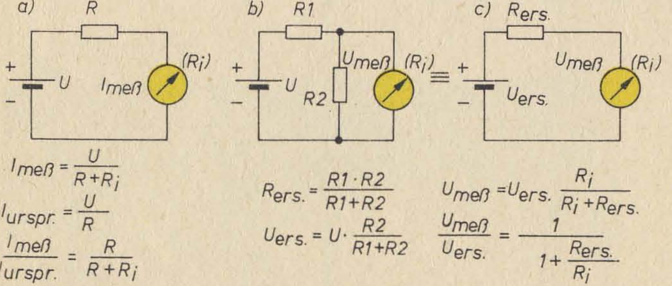


Bild 1
Symbole auf dem Skalenblatt eines Meßinstruments
Bild 2
Die wichtigsten Teile eines Drehspulinstruments mit Außenmagnet und Spitzenlagerung
Bild 3
Ermittlung der Daten eines Meßwerks





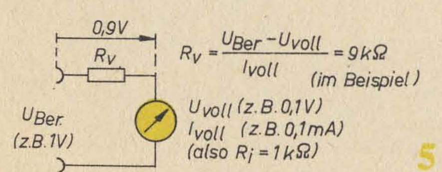
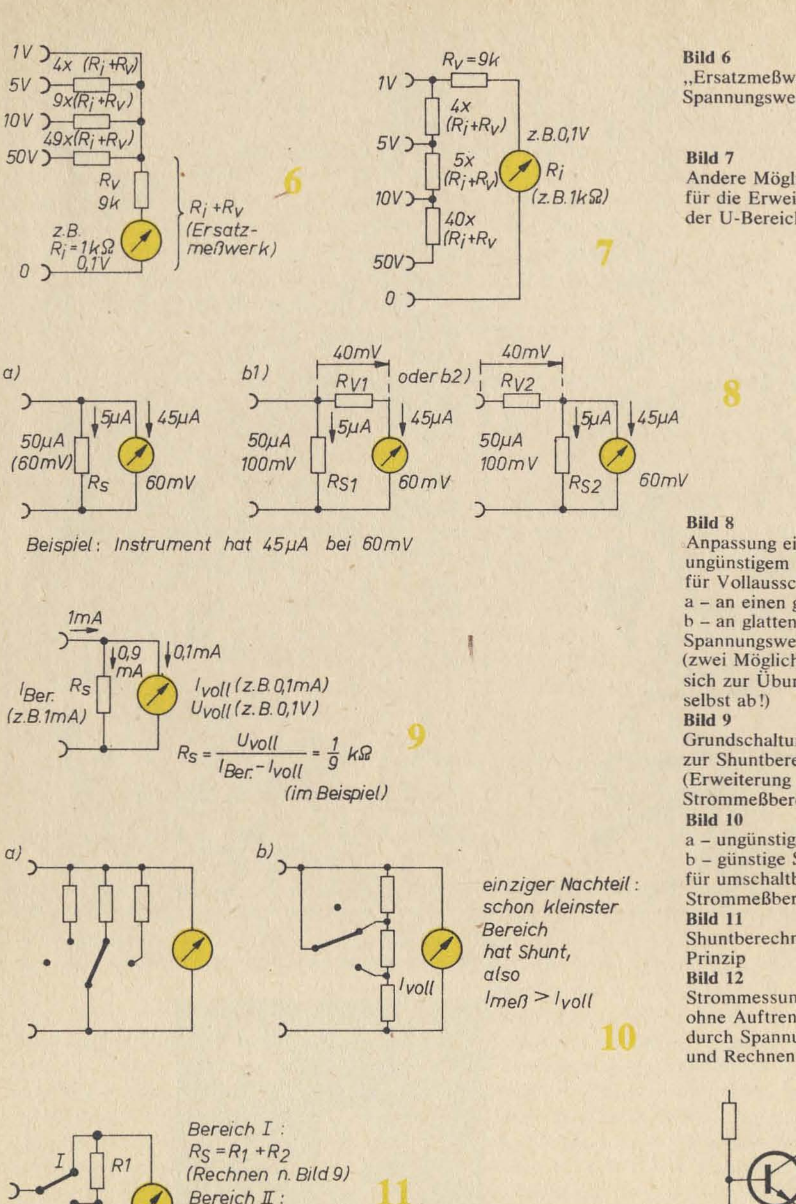


Bild 4
„Systematische" Meßfehler infolge des Innenwiderstands von Meßinstrumenten;
a – Strommessung,
b – Spannungsmessung
c – Ersatzschaltung zu b
Bild 5
Grundschaltung für die Bereichserweiterung bei Spannungsmessung





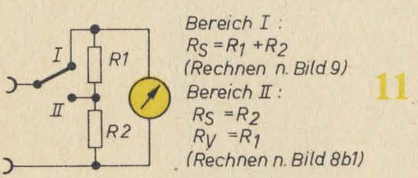
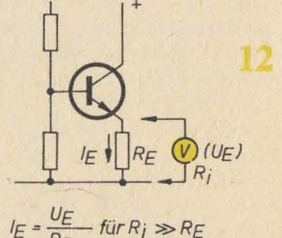


Bild 6
„Ersatzmeßwerk" für glatten Spannungswert bei Vollausschlag

Bild 7
Andere Möglichkeit für die Erweiterung der U-Bereiche


Bild 8
Anpassung eines Instruments mit ungünstigem Wert des Stroms für Vollausschlag;
a – an einen glatten Stromwert,
b – an glatten Strom- und Spannungswert
(zwei Möglichkeiten – man leite sich zur Übung die Formel selbst ab!)
Bild 9
Grundschaltung zur Shuntberechnung (Erweiterung des Strommeßbereichs)
Bild 10
a – ungünstige,
b – günstige Schalteranordnung für umschaltbare Strommeßbereiche
Bild 11
Shuntberechnung für Bild 10b – Prinzip
Bild 12
Strommessung in Schaltungen ohne Auftrennen des Kreises durch Spannungsmessung und Rechnen



1.–20. Tausend
Militärverlag der Deutschen Demokratischen Republik (VEB) – Berlin, 1974 · Cheflektorat Militärliteratur
Lizenz-Nr. 5 · LSV: 3539 · Lektor: Wolfgang Stammler · Zeichnungen: Manfred Schulz · Typografie: Helmut Herrmann · Hersteller: Hannelore Lorenz · Korrektor: Johanna Pulpit · Printed in the German Democratic Republic · Lichtsatz: GG Interdruck Leipzig · Druck und Buchbinderei: Sachsendruck Plauen · Redaktionsschluß: 7. Januar 1974 · Bestellnummer 745 613 6

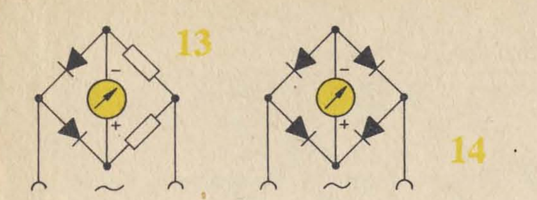


Bild 13
Meßgleichrichter: Halbbrücke
Bild 14
Meßgleichrichter: Graetz-Brücke

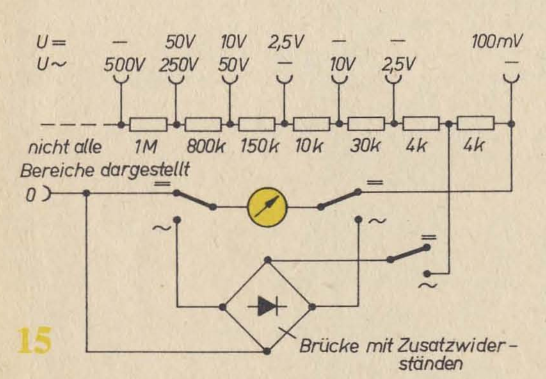


Bild 15
Wechselspannungsmessung über einen Teil der Widerstandskette der Gleichspannungsbereiche beim weitverbreiteten „Vielfachmesser III" (Entwicklung des VEB Gerätewerk Karl-Marx-Stadt, Hersteller VEB Meßtechnik Mellenbach)

Anzeige:
richtig
11 % zu viel
4 % zu wenig
11 % zu viel
16

Bild 16
Unterschiedliche Anzeige eines bei Sinusform in Effektivwerten geeichten Drehspulinstruments bei unterschiedlichen Kurvenformen

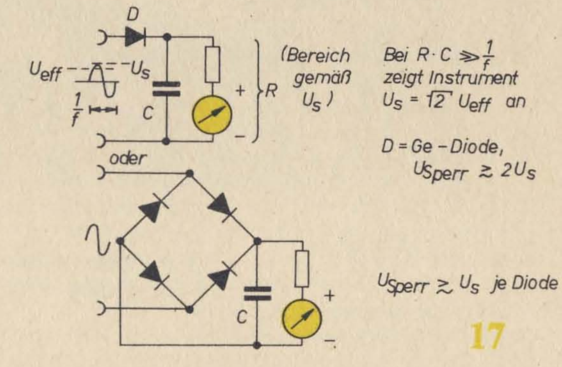
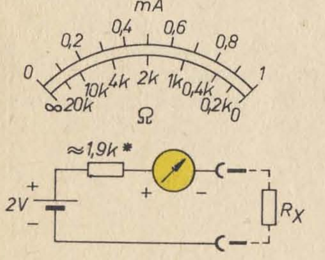
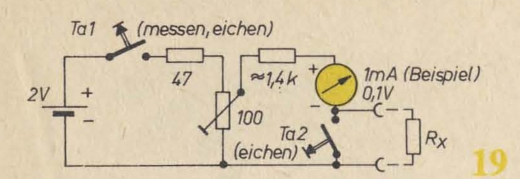
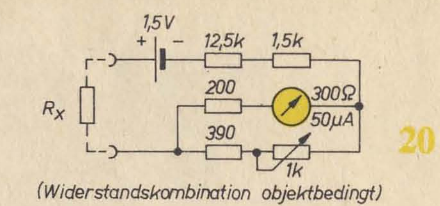
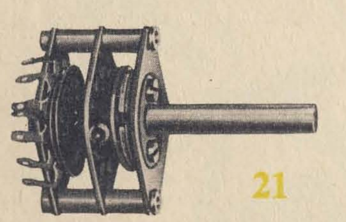


Bild 17
Feststellung eines Wechselspannungswerts über Spitzenspannungsmessung mit dem Gleichstromvoltmeter; (2 Möglichkeiten – im 1. Fall darf zur Quelle keine Kapazität in Serie liegen); für Sinus gilt $U_{eff} = 0{,}707 \cdot U_{Spitze}$
Bild 18
Typische Skale eines einfachen Ohmmeters nach dargestelltem Prinzip
Bild 19
Nachstellen der Quellspannung des Ohmmeters über Spannungsteiler









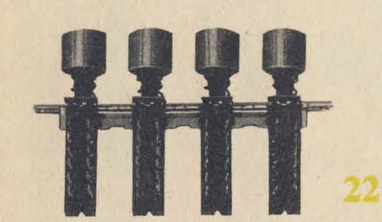
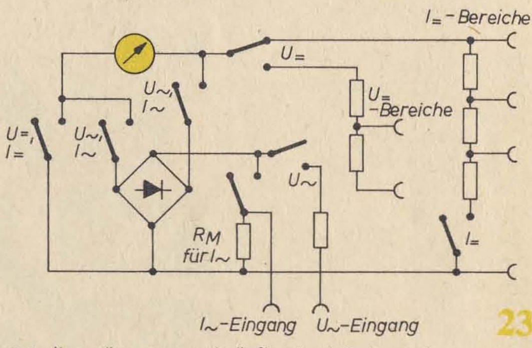


Bild 20
Nebenwiderstand zum Meßwerk bewirkt Ausgleich von Batteriespannungsänderungen (günstiger Weg bei entsprechender Dimensionierung; angewendet im „Vielfachmesser III")

Bild 21
Schalter des „Febana"-Sortiments, in zahlreichen Varianten erhältlich
Bild 22
Verwendeter Meßartenumschalter



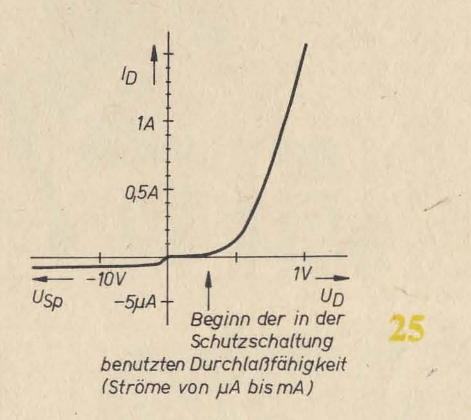


Bild 23
Ein Vielfachmesser dieser Art gestattet bei gemeinsamem 0-Anschluß gleichzeitiges Anschließen von 4 Meßstellen. Die Meßwerte werden über Schalter abgefragt

Bild 25
Kennlinie einer zum Schutz des Instruments geeigneten Si-Diode (auf kleinstmöglichen Sperrstrom für eine Spannung aussuchen, die etwas oberhalb des Spannungsbedarfes des Instruments einschließlich seines Zusatzwiderstandes liegt)

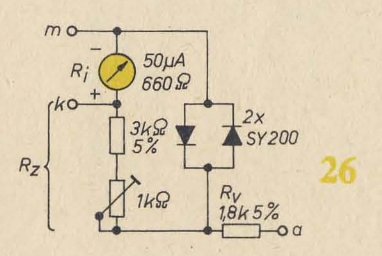
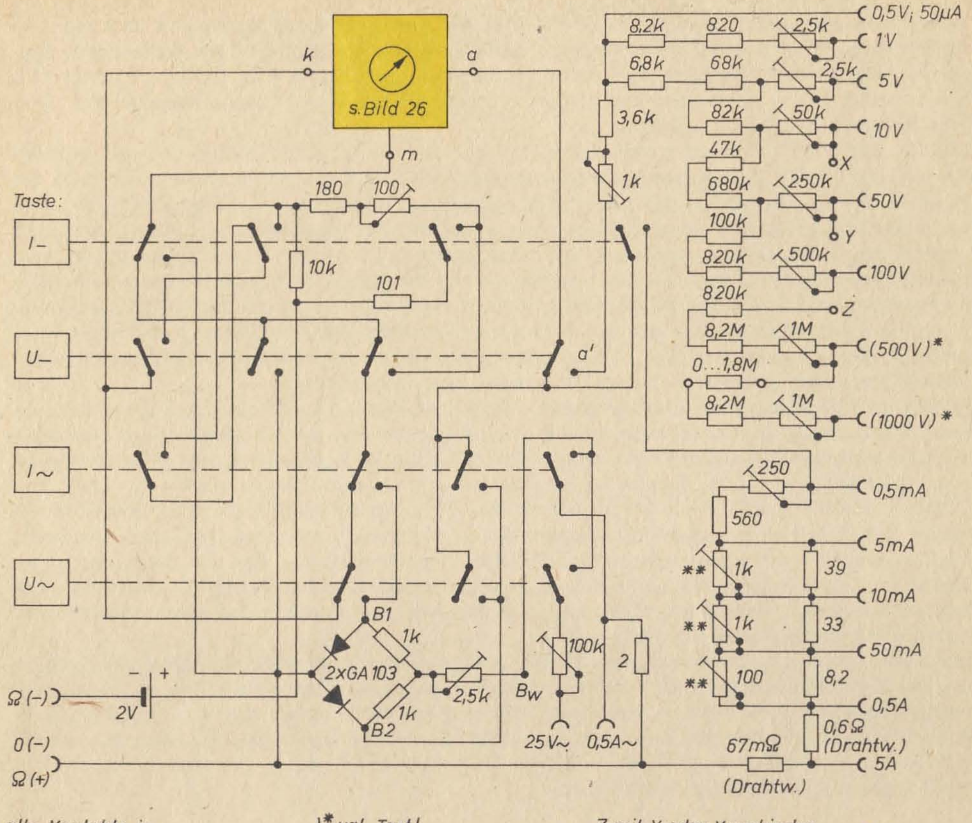


Bild 26
Gesamte Schutzschaltung mit 2 antiparallelgeschalteten Dioden und Zusatzwiderständen



alle Kontakte in Ruhestellung gezeichnet!

)* vgl. Text!
)** bei R_{max} beginnen!

Z mit X oder Y verbinden, je nach Toleranzen

Bild 24
Schaltung des praktisch ausgeführten Vielfachmessers bis auf den umrandeten Komplex (Bild 26); genaue Kontaktzuordnung siehe Bild 36

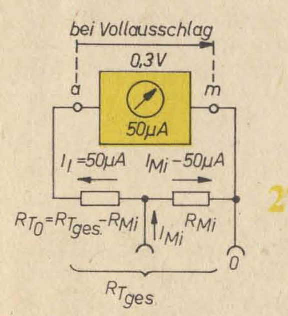


Bild 27
Mit Hilfe dieser Knotenpunktbetrachtung wird die „Shuntkette" berechnet

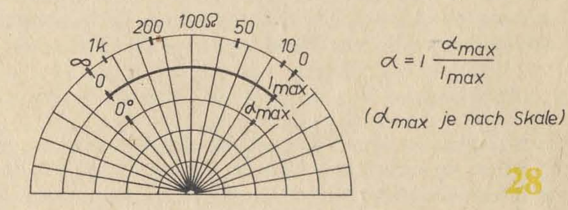


Bild 28
Polarkoordinatenpapier dient als Hilfsmittel zur Übertragung der berechneten Skalen bezüglich der Grundskale

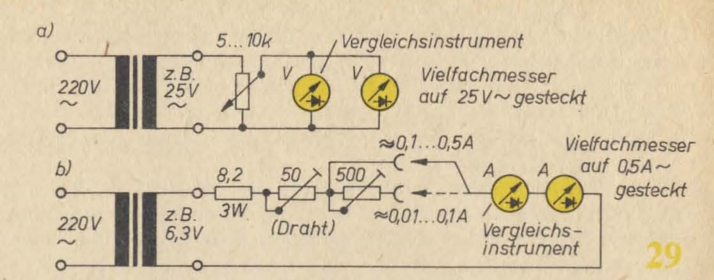


Bild 29
Eichung der
a – Wechselspannungsbereiche und
b – Wechselstrombereiche mit Transformator und Vergleichsinstrument

Wegen hoher Belastung der Vorwiderstände
1. nur kurz in Betrieb nehmen,
2. 500 Ω auf Kleinstwert nur bei 50 Ω Größtwert

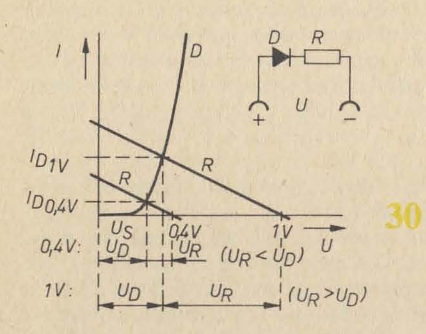


Bild 30
Spannungsverteilung in einem Meßbereich mit Einweggleichrichtung für unterschiedliche Eingangsspannungen (zwei Fälle dargestellt)

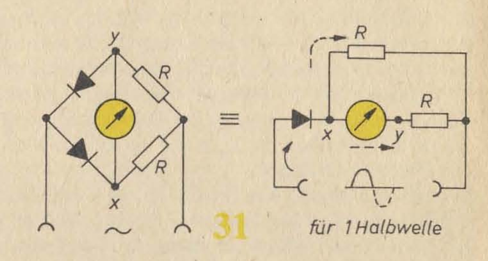


Bild 31
Strompfad in der Halbbrücke für eine der beiden Richtungen des Wechselstroms: Stets liegt dem Instrument ein Widerstand parallel



Pfeile: verstiften; kleben

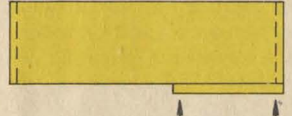


Bild 32
Gehäusegestaltung des Musters (Hp oder PVC, 4 bis 5 mm dick)

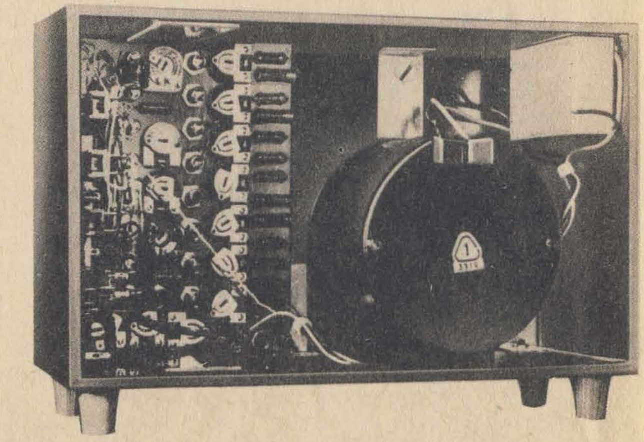


Bild 33
Einbau des Instruments

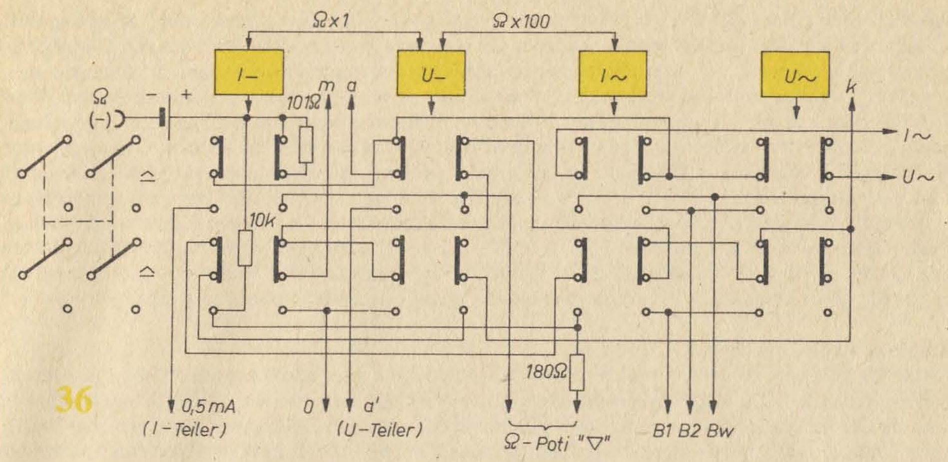


Bild 36
Tastenschalterverdrahtung.
Im Ruhezustand
wird das Instrument
automatisch zur Schonung
der beweglichen Teile
kurzgeschlossen

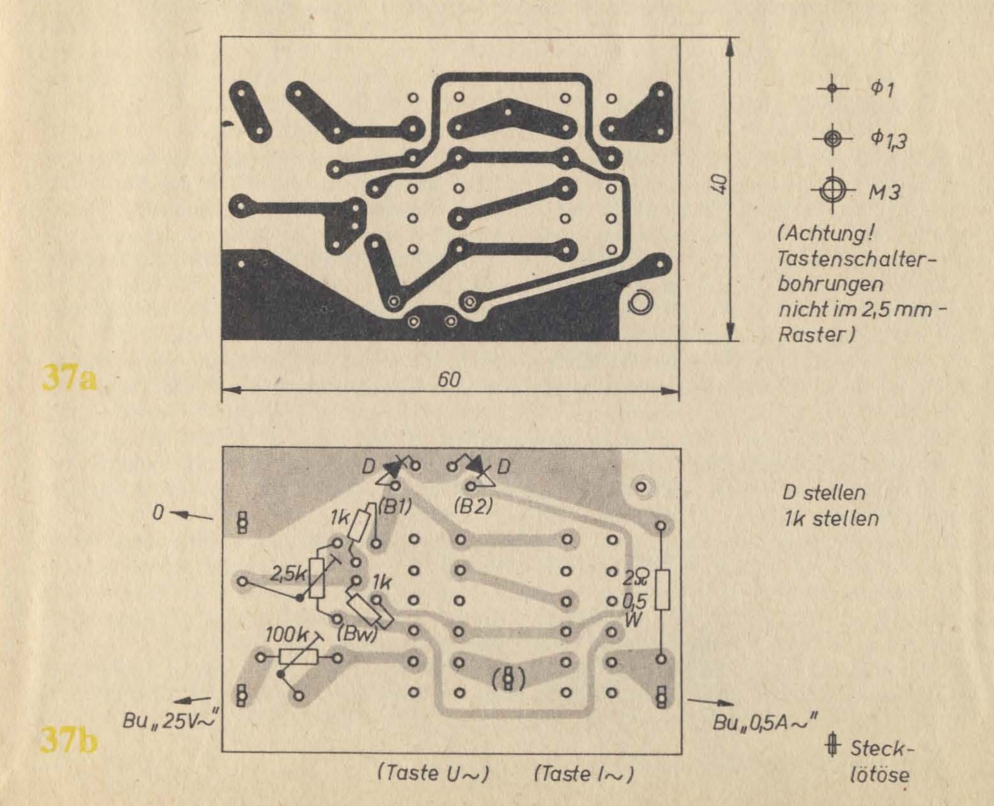


Bild 37
„Hilfsleiterplatte"
für Wechselstrom
und -spannung.
(Bei Einbau kann teilweise
die Verdrahtung der Tasten
I~ und U~ entfallen,
siehe Bild 36!)

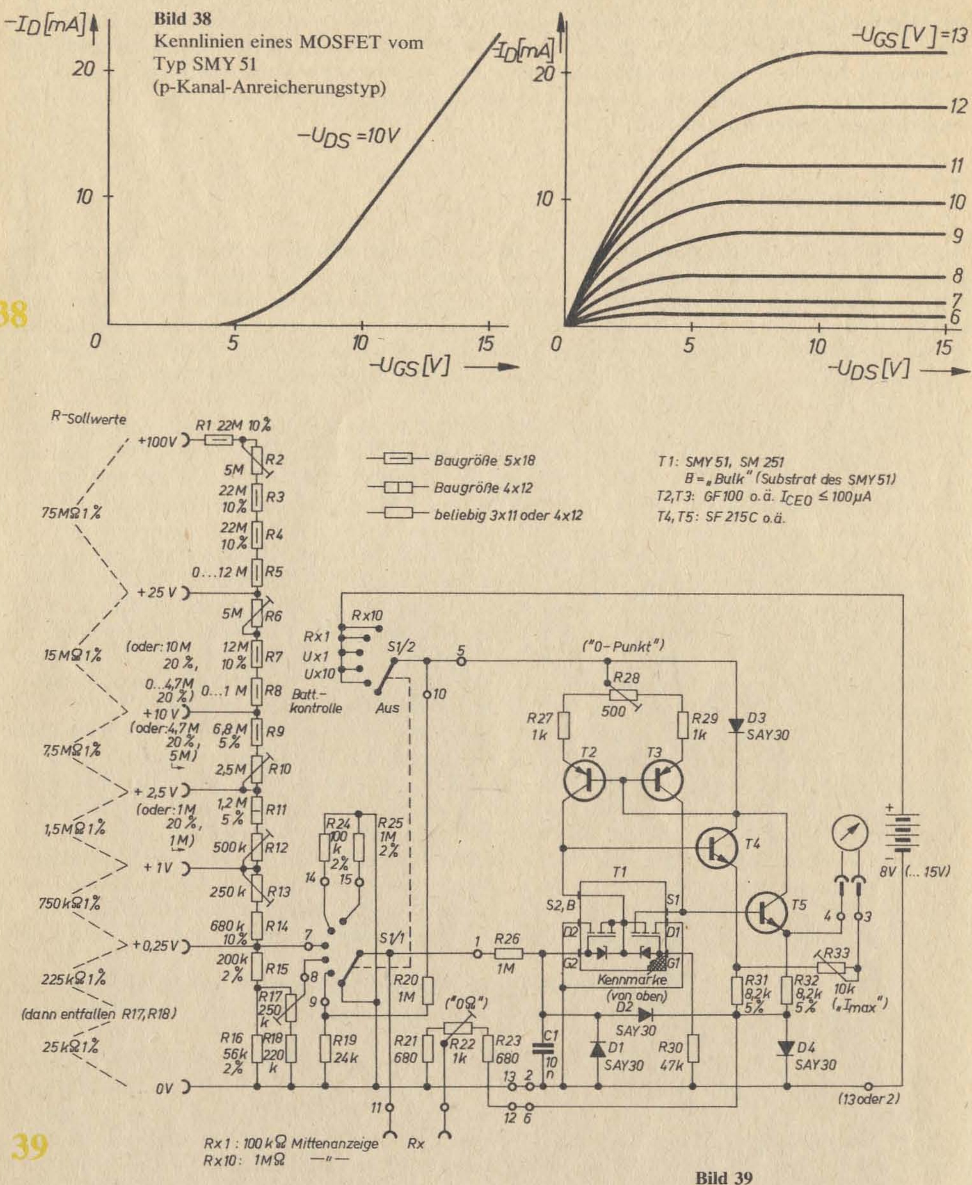
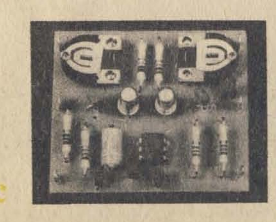


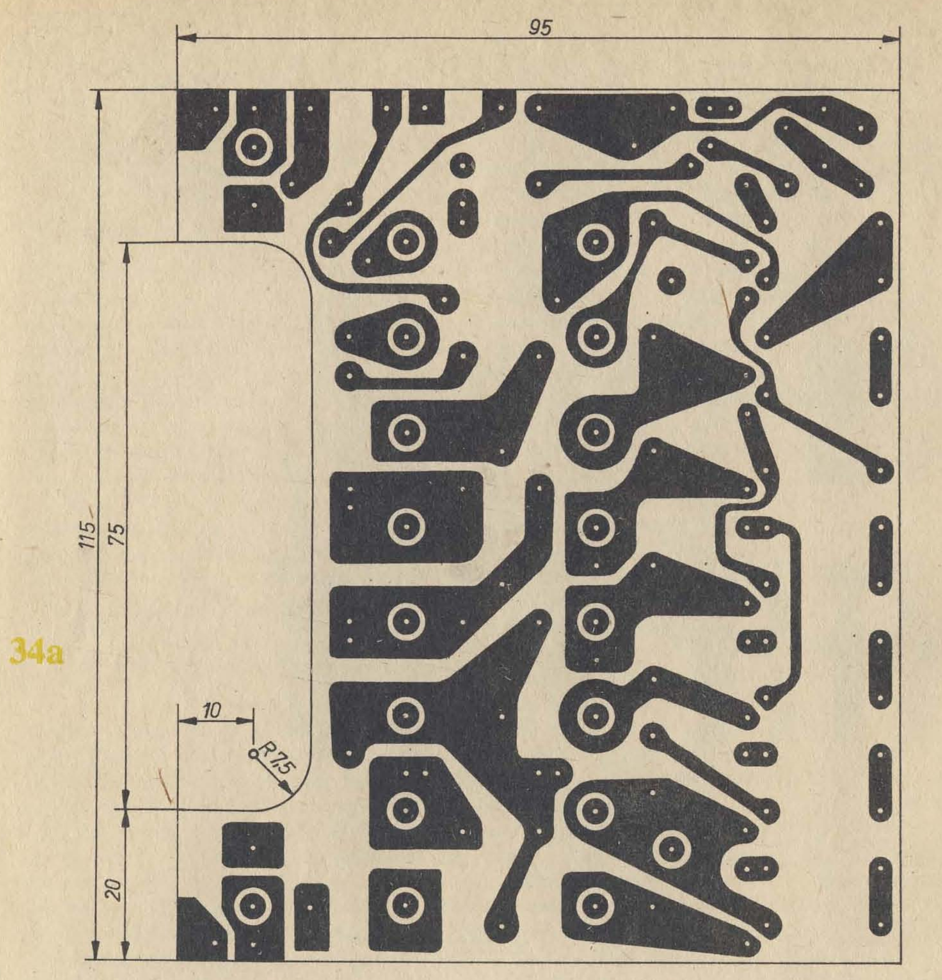
Bild 38
Kennlinien eines MOSFET vom
Typ SMY 51
(p-Kanal-Anreicherungstyp)

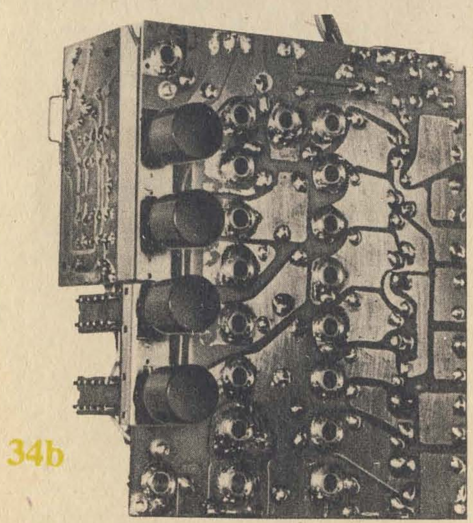
Bild 39
MOSFET-Volt- und
Ohmmeter, 1 MΩ/V,
Vollausschlag 0,25 V im
kleinsten Bereich, über
Umschaltung auf 100 kΩ/V bis
1000 V Vollausschlag geeignet;
Mittelanzeige in den beiden
Widerstandsbereichen 100 kΩ
und 1 MΩ; Betriebsspannung
etwa 7 bis 15 V; Stromaufnahme
etwa 1,7 mA. Instrument mit + an
3 anschließen!

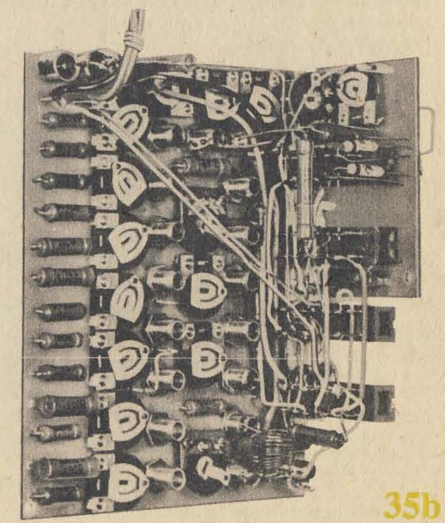


40c

Bild 40
MOSFET-Leiterplatte:
a – Leitungsmuster,
b – Bestückungsplan
(Bauelementeseite mit
„durchschimmerndem"
Leitungsmuster),
c – praktisches Beispiel
(Muster – bezüglich Bestückung
ist b verbindlich)



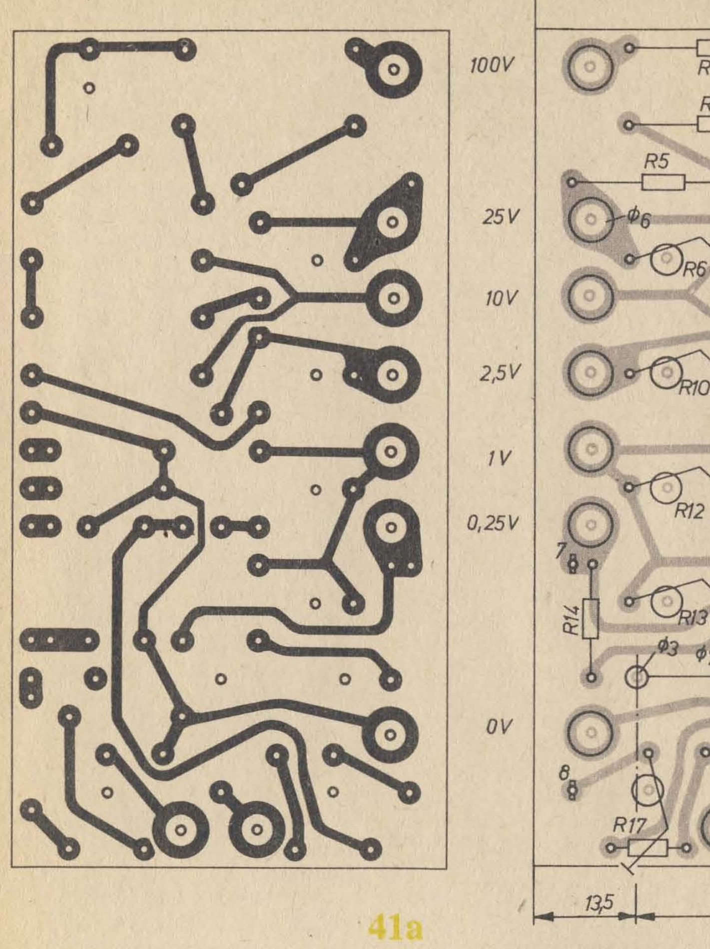


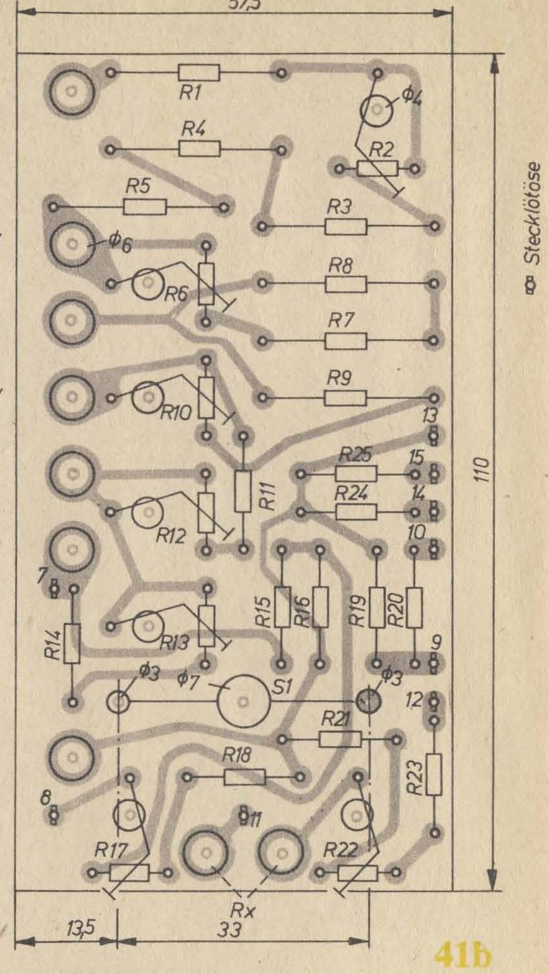


2xSY 200
a (zum Schalter)
bei Montage Unterkante!
Bu „25 V"
18k*
3k*
1k
100
Poti
ϕ4
1k
a'
m (-1)
k (+1)
desgl. zum Schalter
820
8,2k
6,8k
68k
82k
680k
47k
820k
100k
8,2M
820k
8,2M
0...1,8M
2,5k
25k
50k
250k
500k
1M
1M
0,5V
0
„Ω"
„Ω"
50mA
1V
3,6k
(0)
Ω
⊖ Batterie
5V
250
0,5mA
560
10V
1k
5mA
X
50V
10mA
39
Abgleich
Y
100V
1k
50mA
33
Z
(500V)
8,2
0,5A
0,6Ω
5A
(1000V)
100
67mΩ
(0)
0,5A~
Bu „0,5A"~
M2 oder ϕ2
M3 oder ϕ3
ϕ6
Raum für 4-Tastenschalter lt. Fotos mit Leiterplatte nach Bild 37
Stecklötöse
an Buchse gelötet
im 2,5 mm-Raster für offene Telefonbuchsen (18x) (Leiterseitig anlöten, Rückseite 1 Mutter)
o Bohrungen ϕ1,3; für Festwiderstände ϕ1
35a

Bild 34
a – Leitungsmuster des Vielfachmessers;
b – Leiterplatte des Mustergeräts

Bild 35
a – Bestückungsplan (Bauelementeseite) für Bild 34 mit Anschlüssen zu Tastenschalter und Instrument (Einstellung des Shunts für R-Messungen wird von außen mit Schraubenzieher vorgenommen);
b – Bauelementeseite zu Bild 34b


41a



41b

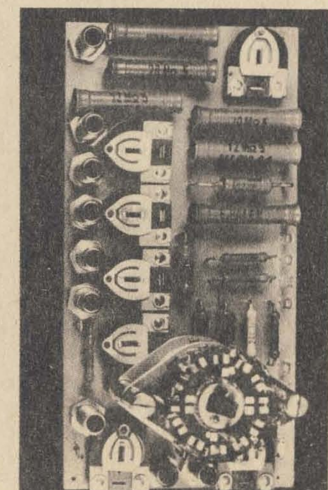
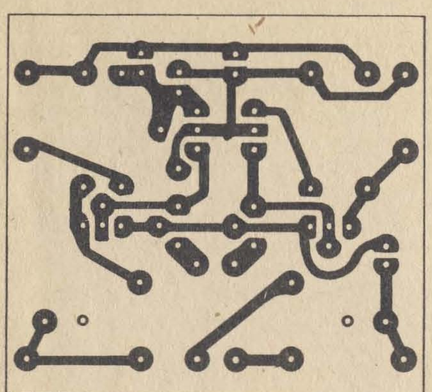
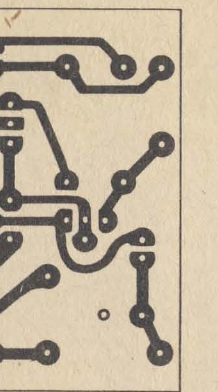
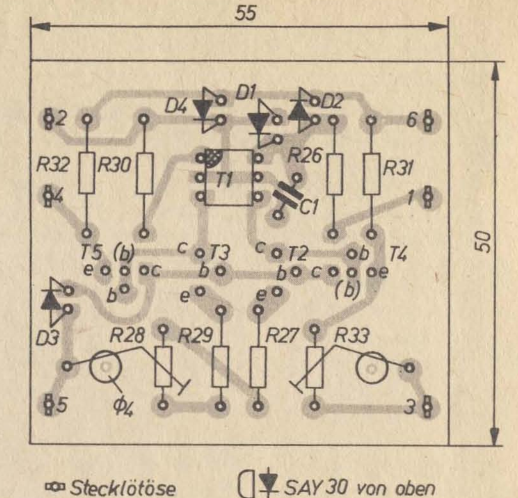
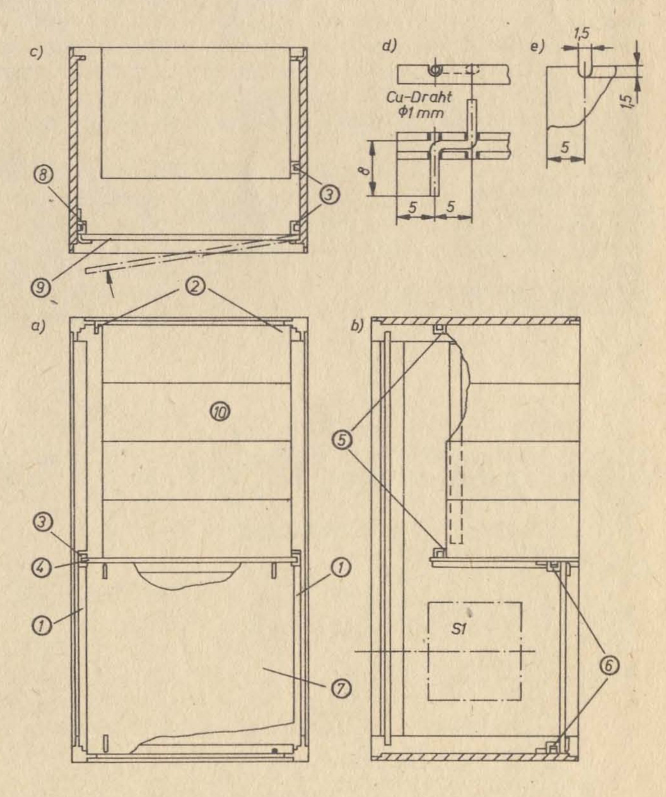

41c

Bild 41
Teilerplatte für MOSFET-Zusatz mit Buchsen:
a – Leitungsmuster,
b – Bestückungsplan (Bauelementeseite mit „durchschimmerndem" Leitungsmuster),
c – praktisches Beispiel



40b



40a



42

Bild 42
Innengestaltung des Zusatzgehäuses (Abmessungen entsprechen einer der mit den neuen „Amateurelektronik"-Teilen nach Bauplan Nr. 26 möglichen Gehäuseformen):
1 – Steg auf eine Länge von etwa 48 mm entfernt; 2 – Steg im oberen und unteren Wandelement entfernt;
3 – Gleitschiene (2 mm × 40 mm, 55 mm und 105 mm);
4 – Zwischenplatte (40 mm × 57 mm);
5 – Gleitschiene als Anschlag für Batteriebehälter (etwa 40 mm); 6 – Gleitschiene mit eingelegten Formdrähten nach d;
7 – MOSFET-Platte (nach Einsetzen Formdrähte abgebogen); 8 – Gleitschiene mit eingelegten Formdrähten nach d; Steg in linkem Wandelement entfernt;
9 – Teilerplatte (nach Einsetzen Formdrähte abgebogen);
10 – 4 × RZP 2 in Batteriebehältern, 3 bis 6 und 8 geklebt.
a – Ansicht von hinten
b – Schnitt von rechts
c – Schnitt von unten
Darstellung: Frontplatte und Rückwand abgenommen, ohne Befestigungselemente.
d – Einzelheit: Gleitschiene mit eingelegten Formdrähten zum Befestigen der Leiterplatten
e – Einzelheit: MOSFET-Platte an 4 Stellen gekerbt für Formdraht